Bernoulli Resolve

Física

6V

Volume 2

istockphoto.com

Sumário - Física

Módulo A

Módulo B

Módulo C

Módulo D

MÓDULO – A 03

Introdução à Cinemática vetorial

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra D

Comentário: A figura da questão representa vários vetores e apresenta diversas operações vetoriais. Assim:

$$CD + DE + EA = CB + BA \qquad EA - CB + DE = BA - CD$$

Diante disso, apenas a afirmativa D é correta.

Questão 02 – Letra D

Comentário: O que caracteriza uma grandeza vetorial é, entre outros, o fato de ela apresentar um valor numérico, seguido de sua unidade, uma direção e um sentido, em oposição às grandezas escalares, que somente apresentam as duas primeiras características citadas.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Essa questão trabalha com o clássico triângulo pitagórico de medidas proporcionais a 3, 4 e 5, que aqui se apresenta com os valores 600, 800 e 1 000. O triângulo em questão é formado pelos pontos ACD. Logo, o valor da distância em linha reta de A até C é de 1 000 m. Para se chegar em C, a partir de A, passando por B, caminha-se no mínimo 14 quarteirões, o que equivale a 1 400 m.

Questão 04 – Letra B

Comentário: O exercício aborda a mudança de referencial de observação de um movimento. Nesse exercício, assim como em uma situação discutida no texto desse módulo, há um ônibus se movendo com velocidade de módulo v_1 em relação à rua (solo) e um passageiro no interior do ônibus se deslocando com velocidade de módulo v_2 em relação ao ônibus. Para determinarmos o módulo da velocidade v do passageiro em relação à rua, devemos realizar a soma vetorial da velocidade do ônibus $\vec{v}_1$ com a velocidade do passageiro $\vec{v}_2$.

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

Como as velocidades $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$ estão na mesma direção e em sentidos opostos, temos que o módulo da velocidade $\vec{v}$ do passageiro em relação à rua é dado por:

$$|\vec{v}| = |\vec{v}_1| - |\vec{v}_2| \Rightarrow v = v_1 - v_2$$

Questão 05 – Letra D

Comentário: Para resolver esse exercício, é preciso observar que o módulo da velocidade do barco em relação às margens do rio, v_r, pode ser calculado por meio da razão entre a distância percorrida pelo barco e o tempo necessário para percorrer essa distância. Logo, a velocidade do barco em relação às margens é dada por:

Na descida: $\left|v_{r_d}\right| = \dfrac{d}{t} = \dfrac{120}{2} = 60$ km/h

Na subida: $\left|v_{r_s}\right| = \dfrac{d}{t} = \dfrac{120}{3} = 40$ km/h

Sabe-se, também, que a velocidade do barco em relação às margens, $\vec{v}_r$, é dada pela soma vetorial das velocidades do barco em relação às águas, $\vec{v}_b$, e das águas em relação às margens, $\vec{v}_c$. Logo, considerando que a velocidade das águas em relação às margens permaneça constante e sendo a potência desenvolvida pelo barco também constante, temos:

$$v_{r_d} = v_b + v_c \qquad \left|v_{r_d}\right| = \left|v_b\right| + \left|v_c\right| \qquad 60 = v_b + v_c$$

$$v_{r_s} = v_b + v_c \qquad \left|v_{r_s}\right| = \left|v_b\right| - \left|v_c\right| \qquad 40 = v_b - v_c$$

Resolvendo o sistema formado pelas duas equações anteriores, temos:

$\Rightarrow 100 = 2v_b \Rightarrow v_b = 50$ km/h

$\Rightarrow 60 = 50 + v_c \Rightarrow v_c = 10$ km/h

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra A

Comentário: Durante uma prova de atletismo, de 200 m rasos, os corredores devem, necessariamente, percorrer a mesma distância, pois isso garante a imparcialidade da prova. No entanto, o deslocamento não será o mesmo, pois os atletas estão em diferentes posições iniciais e chegam em diferentes posições finais, resultando em diferentes vetores deslocamento. Consequentemente, as velocidades vetoriais médias também são diferentes, pois dependem dos tempos e dos deslocamentos dos atletas, e os deslocamentos são, necessariamente, diferentes.

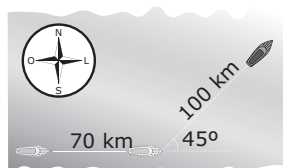
Questão 02 – Letra B

Comentário: A primeira frase do enunciado nos permite deduzir, a partir da equação D = vt, que $D = 10v_{escada}$, em que D representa o comprimento da escada. A segunda frase do texto nos permite concluir que $v_{homem} - v_{escada} = D/15$. Substituindo o valor de D ($10.v_{escada}$) na equação, podemos inferir que $v_{homem} = (5/3)v_{escada}$. Quando o homem estiver descendo a escada, o valor de sua velocidade deverá ser somado ao da velocidade da escada. Logo, a velocidade total do homem é de $(8/3)v_{escada}$. Se a velocidade aumentou em 8/3, o intervalo de tempo deve cair na mesma proporção, isto é, de 10 s para 3,75 s.

Questão 03 – Letra A

Comentário: Nessa questão, tanto o garoto quanto a boia, na qual ele não está flutuando, apresentam o mesmo vetor velocidade, que é igual ao vetor velocidade da correnteza. Logo, a boia se encontra em repouso em relação ao menino. Desse modo, para o garoto alcançar a boia, basta ele se mover em direção a ela, isto é, basta ele nadar em direção a K.

Questão 06 – Letra C

Comentário: Esse exercício aborda a diferença entre distância percorrida e deslocamento. Nele, o veleiro percorre uma distância total de 170 km. Entretanto, seu deslocamento não é de 170 km, pois a trajetória do veleiro não é retilínea.

O módulo do deslocamento de um corpo em movimento equivale à distância, em linha reta, entre a posição inicial do movimento e a posição final deste. Logo, tendo em vista o movimento do veleiro, representado na figura anterior, temos que seu deslocamento é dado por:

Deslocamento na direção leste:

$$|d_L| = 70 + 100.\cos\ 45° \qquad |d_L| = 70 + 100.\frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$|d_L| = 70 + 70 = 140\ \text{km}$$

Deslocamento na direção norte:

$$|d_N| = 100.\text{sen}\ 45° \qquad |d_N| = 100.\frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$|d_N| = 70\ \text{km}$$

Deslocamento total:

$$|d_T|^2 = |d_L|^2 + |d_N|^2 \qquad |d_T| = \sqrt{|d_L|^2 + |d_N|^2}$$

$$|d_T| = \sqrt{140^2 + 70^2} = \sqrt{70^2\ (2^2 + 1)}$$

$$|d_T| = 70\sqrt{5} = 70.2,2$$

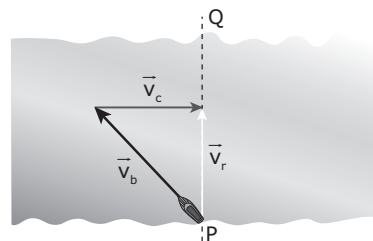
$$|d_T| = 154\ \text{km}$$

Questão 09 – Letra A

Comentário: Esse exercício aborda o conceito de velocidade vetorial média. Deve ser observado que a velocidade vetorial média de um corpo é dada pela razão entre o deslocamento do corpo e o intervalo de tempo gasto nesse deslocamento. O deslocamento de um carro de Fórmula 1 em uma volta completa do circuito é nulo, pois as posições final e inicial do movimento são coincidentes. Logo, a velocidade vetorial média do carro de Fórmula 1 ao longo de uma volta completa é nula.

Questão 13 – Letra D

Comentário: Novamente, temos uma questão que envolve o clássico triângulo pitagórico de lados proporcionais a 3, 4 e 5. Se o barco gasta 0,5 h para atravessar um rio de 4 km de largura, isso implica que ele desenvolve uma velocidade de 8 km/h em relação à margem.

Para que o barco possa atravessar o rio na menor distância possível, é necessário que ele esteja orientado, conforme mostra a figura a seguir. O vetor $\vec{v}_c$ representa a velocidade da correnteza, o vetor $\vec{v}_r$ representa a velocidade do barco em relação à margem, e o vetor $\vec{v}_b$ representa a velocidade do barco em relação à correnteza. Se os dois primeiros têm módulos de 6 km/h e 8 km/h, então o vetor $\vec{v}_b$ deve ter módulo igual a 10 km/h.

Questão 15 – Letra B

Comentário: A forma da trajetória do movimento de um corpo depende do referencial em que esse movimento é observado. A forma da trajetória do movimento de uma gota de chuva, não sujeita a ventos, é retilínea, considerando que esse movimento seja observado no referencial do solo. Se o movimento dessa gota de chuva for observado a partir de um trem em movimento, a forma da trajetória descrita pela gota de chuva será diferente. Isso se deve ao fato de a gota de chuva apresentar um movimento horizontal em relação ao trem: se o trem se move para a direita em relação ao solo, temos que a gota de chuva se move para a esquerda em relação ao trem. Logo, o movimento da gota de chuva em relação ao trem é composto de dois movimentos independentes, um na direção vertical para baixo e outro na direção horizontal para a esquerda.

A partir do instante em que a gota atinge a velocidade limite (velocidade máxima de queda), sua velocidade de queda permanece constante e seu movimento passa a ser retilíneo uniforme, considerando que a gota não esteja sujeita a ventos. Logo, tendo em vista a discussão anterior, temos que a figura que melhor representa o movimento da gota de chuva é a da alternativa B.

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 5

Habilidade: 17

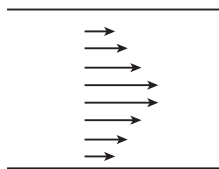
Comentário: A figura da questão apresenta somas de vetores e, portanto, deve representar apenas grandezas vetoriais, isto é, que necessitam de módulo, direção e sentido para ficarem definidas. As alternativas apresentam três grandezas escalares (tempo, volume e massa); logo, a figura não pode representar tais grandezas. Tendo em vista a definição de velocidade relativa de um corpo A em relação a um corpo B, $\vec{v}_{AB} = \vec{v}_A - \vec{v}_B$, temos que os vetores resultantes da figura do exercício não são coerentes com a relação anterior; logo, a figura não pode representar a velocidade relativa de veículos. As operações vetoriais mostradas na figura são coerentes com a soma de deslocamentos sucessivos realizados por um corpo. Assim, a alternativa correta é a A.

Questão 02 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: A imagem a seguir representa o vetor velocidade da água do rio a diferentes distâncias da margem. Observe que no meio do rio a velocidade da correnteza é maior, quando comparada à velocidade da correnteza próxima à margem. Com esse perfil de velocidades, é mais econômico subir o rio pelas margens, uma vez que a redução da velocidade do barco será menor, e descer o rio pela sua parte central, para aproveitar a maior velocidade da correnteza nessa parte do rio.

Questão 03 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Os vetores v_{0x} e v_{0y} são frutos da decomposição ortogonal do vetor $\vec{v}_0$ e, por isso, não possuem existência concomitante a este. Assim, apenas Isabela está certa.

MÓDULO – A 04

Lançamento horizontal e lançamento oblíquo

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra D

Comentário: No ponto mais alto da trajetória de uma flecha que percorre uma trajetória parabólica vertical, nem a velocidade nem a aceleração são nulas, pois tanto a aceleração quanto a componente horizontal da velocidade são constantes e não nulas durante todo o movimento, supondo que não haja resistência do ar. Somente a componente vertical da velocidade possui valor nulo no ponto mais alto da trajetória. Logo, a alternativa correta é a D.

Questão 02 – Letra B

Comentário: A situação apresentada nessa questão é explorada em muitos outros exercícios que discutem a relatividade do movimento. Na questão, a bola e o skatista apresentam a mesma velocidade horizontal no momento do lançamento e, como não há resistência do ar, a velocidade horizontal de ambos permanece constante e igual. Logo, ambos têm o mesmo movimento horizontal e, consequentemente, a bola retornará à mão do skatista no mesmo ponto em que foi lançada, isto é, no ponto L.

Questão 03 – Letra D

Comentário: A questão discute alguns aspectos relativos ao lançamento oblíquo de um projétil. Porém, somente a afirmativa feita na alternativa D está correta, pois a aceleração resultante que atua sobre o projétil é constante e igual à aceleração da gravidade.

Questão 04 – Letra E

Comentário: O enunciado do problema afirma que o valor da velocidade da bola no ponto mais alto da trajetória era de 20 m/s. Isso indica que o valor da componente horizontal da velocidade é de 20 m/s (esse valor permanece constante durante todo o movimento, considerando que não haja resistência do ar). Temos, então, o ângulo de lançamento e o valor da componente horizontal. Logo, para determinar a velocidade de lançamento da bola, podemos aplicar a relação:

$v = v_{hor}/\cos\theta \Rightarrow v = (20\ m/s)/(\cos 60º) = 20/0,5 = 40\ m/s$

Questão 05 – Letra A

Comentário: Deve ser observado na resolução desse exercício que o rapaz lança a bola verticalmente para cima em relação a ele. Entretanto, em relação ao solo, o rapaz lança a bola obliquamente. Como a resistência do ar, nessa situação, pode ser desprezada, a altura máxima atingida pela bola pode ser calculada por meio da equação $v^2 = v_0^2 + 2gh$. Logo:

$v^2 = v_0^2 + 2gh \Rightarrow 0 = 18^2 + 2(-10)h$

$$h = \frac{324}{20} = 16,2\ m$$

Para calcularmos o deslocamento horizontal da bola, precisamos determinar o tempo total de permanência da bola no ar. O tempo de subida da bola é dado por:

$v = v_0 + gt \Rightarrow 0 = 18 + (-10)t_s$

$$t_s = \frac{18}{10} = 1,8\ s$$

Considerando que a bola tenha sido lançada e recolhida à mesma altura, os tempos de subida e de descida do movimento são iguais. Logo, o tempo total de permanência da bola no ar é t = 3,6 s. Assim, temos que o deslocamento horizontal da bola é dado por:

$x = vt \Rightarrow x = 5.3,6$

$\Rightarrow x = 18\ m$

Logo, a alternativa correta é a A.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra B

Comentário: Para a resolução dessa questão, deve ser observado que o movimento da caminhonete é acelerado. No instante em que o passageiro da caminhonete lança a bola para cima, em relação a ele, a bola possui a mesma velocidade horizontal que o passageiro e a caminhonete. Entretanto, após a bola ser lançada, o módulo da velocidade da caminhonete continua a aumentar, pois o movimento desta é acelerado, mas a componente horizontal da velocidade da bola permanece constante.

Logo, a caminhonete percorre uma distância horizontal maior que a bola, durante o tempo em que esta permanece no ar. Assim, temos que a figura que melhor representa a trajetória da bola em relação a uma pessoa parada no acostamento da estrada é a da alternativa B.

Questão 02 – Letra A

Comentário: O intervalo de tempo em que uma bola permanece no ar, quando lançada obliquamente, está associado à altura que ela atinge. A distância horizontal percorrida pela bola está associada à velocidade horizontal desta. A imagem da questão mostra que a trajetória mais alta foi descrita pela bola Q. Logo, a bola Q permanece mais tempo no ar. As trajetórias descritas pelas bolas P e R são semelhantes em termos de alturas; logo, também o serão em termos dos intervalos de tempo gastos no ar.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Sabemos que, quanto maior for a velocidade inicial na direção horizontal, maior será a distância horizontal percorrida pelo objeto durante uma queda. Sabe-se também que, quanto mais alta for a posição dos blocos no plano inclinado da mesa, maior será a velocidade com que eles chegarão à base da mesa e, consequentemente, maior será a velocidade inicial horizontal.

Desse modo, podemos dizer que:

maior altura de partida do bloco ⇒ maior velocidade horizontal durante o movimento subsequente ⇒ maior distância horizontal percorrida.

Isso nos leva a concluir que o bloco de massa m chegará mais longe, seguido pelos blocos de massas 5 m, 2 m e 3 m, respectivamente.

Questão 06 – Letra D

Comentário: A questão apresenta uma figura na qual duas esferas caem de uma mesma altura, uma solta e outra lançada horizontalmente. Como a altura e a velocidade inicial na direção vertical são as mesmas, o intervalo de tempo de queda deve ser o mesmo. Porém, a esfera lançada horizontalmente apresentará uma maior velocidade final, uma vez que sua velocidade apresenta as componentes vertical e horizontal, enquanto a esfera solta apresenta apenas a componente vertical da velocidade, de módulo igual à componente vertical da velocidade da bola lançada horizontalmente.

Questão 07 – Letra A

Comentário: De acordo com o gráfico da questão, a altura da bola no momento do lançamento era de 20 m. Isso indica que o intervalo de tempo de queda da bola será de 2 s (em 1 s, 5 m; em 2 s, 20 m; em 3 s, 45 m, etc.). Logo, se em 2 s a bola percorre 30 m horizontalmente, em movimento uniforme, a partir da equação D = vt, podemos concluir que a sua componente horizontal de velocidade tem valor igual a 15 m/s.

Questão 09 – Letra A

Comentário: Para que a bola atinja a plataforma B, é necessário que ela percorra uma distância horizontal igual a D, em um intervalo de tempo equivalente ao da queda vertical de uma altura H.

O intervalo de tempo pode ser determinado pela expressão $H = gt^2/2$, pois o movimento na direção vertical é um movimento uniformemente acelerado. Logo:

$$H = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

Entretanto, na direção horizontal, o movimento é uniforme. Diante disso, podemos utilizar o valor do tempo calculado na expressão anterior e aplicá-lo em:

$$D = v_0 t \Rightarrow v_0 = D/t = D\sqrt{\frac{g}{2H}}$$

Questão 14

Comentário:

A) A partir da observação do gráfico, é possível avaliar que o centro de gravidade de Daiane dos Santos atingiu uma altura máxima de 1,55 m em relação ao solo.

B) A velocidade horizontal média do salto é dada pela razão entre a distância horizontal percorrida e o intervalo de tempo gasto para percorrê-la. Tendo em vista que a distância percorrida na direção horizontal foi de 1,3 m e que o tempo total de permanência no ar foi de 1,1 s, temos que a velocidade horizontal média do salto de Daiane foi de:

$$v_m = \frac{d}{t} \qquad v_m = \frac{1,3}{1,1}$$

$$v_m = 1,2 \text{ m/s}$$

C) A velocidade vertical de Daiane na saída do solo pode ser calculada por meio da equação $v^2 = v_0^2 + 2gh$, observando que a velocidade vertical de Daiane é nula no ponto mais alto da trajetória. Sendo assim, temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2gh \Rightarrow 0 = v_0^2 + 2(-10)1,55$$

$$v_0 = \sqrt{31} = 5,5 \text{ m/s}$$

Questão 15

Comentário:

A) Para determinar o intervalo de tempo de voo da bola, devemos determinar, primeiramente, o intervalo de tempo de subida e, posteriormente, o intervalo de tempo de descida. Esse tempo é determinado pelo movimento vertical da bola. Na subida, ela se move 31,25 cm e, na descida, 125 cm.

- tempo de subida dos 31,25 cm:
  $d = (½)gt^2 \Rightarrow 0,3125 = 5t^2 \Rightarrow t = 0,25$ s
- tempo de descida dos 125 cm:
  $d = (½)gt^2 \Rightarrow 1,25 = 5t^2 \Rightarrow t = 0,5$ s
- tempo total = 0,75 s

B) Em 0,75 s (intervalo de tempo total), a bola percorreu uma distância horizontal de 24 m; logo, sua velocidade horizontal será:

$v = d/\Delta t \Rightarrow v = 24 \text{ m}/0,75 \text{ s} = 32$ m/s

Seção Enem

Questão 01 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Nessa questão, aplica-se um método semelhante ao utilizado por Galileu para estudar a queda dos corpos sem a resistência do ar. Primeiramente, desenha-se a trajetória do corpo lançado como se não houvesse gravidade e, posteriormente, determina-se a posição de queda livre. As alturas h_1, h_2 e h_3 correspondem às alturas de queda de um

corpo abandonado em queda livre. Para calcular os valores dessas alturas, basta aplicar a equação $d = gt^2/2$, o que resultará em 5 m, 20 m e 45 m, respectivamente, para os intervalos de tempo de 1 s, 2 s e 3 s.

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Todas as afirmativas da questão estão corretas e relacionadas ao movimento de um projétil. Porém, a única afirmativa que explica as duas observações mencionadas no enunciado é a A.

O alcance de um projétil, lançado obliquamente, é dado por:

$$A = \frac{v_0^2}{g} \text{sen}\,(2\theta)$$

Sendo assim, conclui-se que o alcance do projétil será máximo quando $2\theta = 90°$, ou seja, o alcance é máximo quando o projétil é lançado com um ângulo $\theta = 45°$. A partir da equação anterior, podemos concluir, também, que o alcance do projétil, lançado obliquamente com dois ângulos diferentes, será o mesmo, caso o projétil seja lançado com ângulos complementares (15º e 75º, 30º e 60º, etc.).

Portanto, da discussão anterior, conclui-se que a distância horizontal percorrida pelo projétil é diretamente proporcional ao valor do seno do dobro do ângulo de lançamento.

Questão 03 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: A figura 2 dessa questão mostra o registro das posições verticais de queda da esfera.

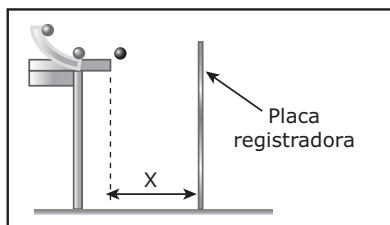
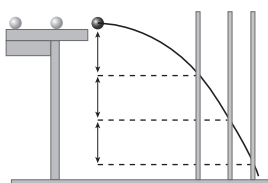



Figura 1

Figura 2

Observando essa figura, verificamos que a distância entre duas posições sucessivas ocupadas pela esfera se mantém, aparentemente, constante. Como o movimento vertical de queda da esfera é acelerado, para que a distância entre duas posições sucessivas ocupadas pela esfera se mantenha constante, os deslocamentos horizontais feitos pela placa tem de ser cada vez menores. Sendo assim, a alternativa correta é a D.

MÓDULO – B 03

Calorimetria

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra E

Comentário: Desprezando as perdas de calor para o ambiente, a soma do calor cedido pelo bloco de ferro (Q_C: calor negativo) com o calor absorvido pela água (Q_R: calor positivo) é zero. Assim:

$Q_C + Q_R = 0 \Rightarrow m_{Fe}c_{Fe}(T_E - T_{0,\,Fe}) + m_A c_A(T_E - T_{0,\,A}) = 0 \Rightarrow$
$500.0{,}1.(T_E - 42) + 500.1.(T_E - 20) = 0$

A solução dessa equação fornece a temperatura de equilíbrio $T_E = 22$ °C.

Note que a temperatura do bloco de ferro diminuiu de 20 °C, enquanto a temperatura da água aumentou de apenas 2 °C. A variação de temperatura da água foi 10 vezes menor que a do ferro, pois a capacidade térmica da massa de água ($C_A = m_A c_A = 500$ cal/°C) é 10 vezes maior que a capacidade da massa de ferro ($C_{Fe} = m_{Fe}c_{Fe} = 50$ cal/°C).

Questão 02 – Letra D

Comentário: O material desconhecido (massa 1 250 g), ao se resfriar de 540 °C para 30 °C, cede calor para a água do recipiente (3 000 g) e para as paredes de madeira do recipiente (5 000g). Assim, a soma do calor cedido pelo material desconhecido (calor negativo) com os calores absorvidos pela água e pelas paredes (calores positivos) vale zero:

$$1\,250.c.(30 - 540) + 3\,000.1{,}0.(30 - 10) + 5\,000.0{,}42.(30 - 10) = 0$$

Resolvendo essa equação, obtemos c = 0,16 cal/g°C. De acordo com a tabela dada, o material ensaiado é feito de vidro.

Questão 03 – Letra D

Comentário:

I. De fato, como o gelo desaparece com o aumento da temperatura da atmosfera do planeta sem que a água na fase líquida seja observada, conclui-se que o gelo passa diretamente para o estado de vapor, e o contrário quando o gelo reaparece nas estações frias. Essas mudanças de fase são denominadas de sublimação.

II. A sublimação ocorre quando uma substância é aquecida ou resfriada abaixo da pressão do ponto triplo, fato que pode ser notado facilmente através do diagrama de fases. Essa pressão, para a água, é muito baixa e vale apenas 4,579 mmHg (cerca de 0,6% da pressão atmosférica da Terra, 760 mmHg = 1 atm). Logo, a pressão atmosférica em Marte é muito baixa.

III. Conforme discutido no item II, o gelo não sofre fusão. Isso ocorre devido ao fato de a pressão em Marte ser muito pequena, não porque a temperatura em Marte seja sempre inferior à temperatura de fusão do gelo.

Questão 04 – Letra B

Comentário: O 1º patamar horizontal mostrado no gráfico representa a fusão (liquefação) de 1,0 g de gelo à temperatura de 0 °C. Do gráfico, tiramos que a quantidade de calor absorvida pelo gelo a –50 °C até a fusão completa a 0 °C é de 105 calorias, das quais 25 calorias são usadas no aquecimento do gelo de –50 °C até 0 °C e 80 calorias são usadas na fusão do gelo. Professor, comente com os alunos que o valor 105 calorias faz sentido, pois o calor latente de fusão do gelo a 0 °C é 80 cal/g e, como o calor especifico do gelo é 0,50 cal/g°, o calor para aquecer uma massa de 1,0 g de gelo de –50 °C a 0 °C é:

$$Q = (1,0\ g).(0,50\ cal/g°C).(50\ °C) = 25\ cal$$

A 2ª reta inclinada mostrada no gráfico representa a elevação da temperatura da água líquida de 0 °C a 100 °C. Do gráfico, tiramos que a quantidade de calor absorvida para ela ser aquecida de 0 °C até 100 °C é 100 calorias. Professor, comente com os alunos que esse valor faz sentido, pois, como o calor especifico da água líquida 1,0 cal/g°, o calor para aquecer 1,0 g de água líquida de 0 °C a 100 °C é:

$$Q = mc\Delta t = 1,0\ g\ 1,0\ cal/g°C\ 100\ °C = 100\ cal$$

Questão 05 – Letra C

Comentário: A temperatura de equilíbrio pode ser obtida por meio do seguinte balanço de energia:

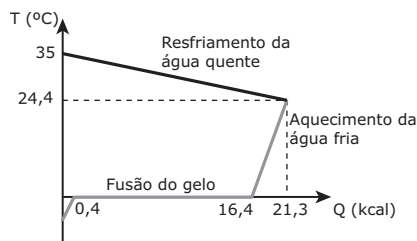
$$2\,000.1.(T_E - 35) + 200.0,5.[0 - (-4)] + 200.80 + 200.1.(T_E - 0) = 0$$

Nessa equação, a primeira parcela é o calor cedido pela água quente para que ela se resfrie até a temperatura de equilíbrio T_E. As outras três parcelas são referentes ao calor recebido pelo gelo para ser aquecido de –4 °C até 0 °C (ponto de fusão), ao calor absorvido pelo gelo para fundir-se e ao calor absorvido pela água, proveniente da fusão do gelo, para que esta se aqueça de 0 °C até a temperatura T_E. Resolvendo essa equação, obtemos T_E = 24,4 °C. Podemos confirmar que esse resultado é coerente, calculando o calor cedido pela água quente e as três parcelas de calor recebido, verificando a igualdade entre o calor cedido (Q_C) e o calor recebido (Q_R). Fazendo isso, obtemos:

$Q_C = 2\,000.1.(24,4 - 35) = -21\,200$ cal (o sinal negativo indica que a água cedeu calor)

$$Q_R = 200.0,5.[0 - (-4)] + 200.80 + 200.1.(24,4 - 0) \Rightarrow$$

$$Q_R = 21\,280\ cal$$

A pequena diferença entre os dois valores (0,4% apenas) se deve ao fato de a temperatura de 24,4 °C ter sido aproximada com apenas uma casa decimal de precisão. O gráfico a seguir (fora de escala) é um bom resumo desse exercício, e você, professor, deve apresentá-lo aos alunos.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra B

Comentário: De acordo com o enunciado da questão, os blocos de ferro e de alumínio estão inicialmente à mesma temperatura (temperatura ambiente), possuem a mesma massa e recebem a mesma quantidade de calor. Entretanto, o calor específico do alumínio é maior que o calor específico do ferro. Assim, o bloco de ferro se aquecerá mais que o bloco de alumínio, pois o ferro necessita de menor quantidade de calor por unidade de massa para sofrer uma variação unitária de temperatura ($c_{Fe} < c_{Al}$). Logo, se após o processo de aquecimento os blocos forem colocados em contato, haverá transferência de calor do bloco de ferro para o bloco de alumínio, pois o bloco de ferro estará a uma temperatura maior que a do bloco de alumínio.

Questão 02 – Letra D

Comentário: 60% da energia mecânica provenientes de N = 50 marteladas são convertidos em energia térmica Q para aquecer de ΔT = 10 °C um prego de ferro de massa m = 50 g e calor específico c = 0,1 cal/g°C. Assim, para calcular a energia mecânica E de uma só martelada, podemos expressar a conversão de energia mecânica do martelo em energia térmica do prego pela seguinte equação:

60% da energia mecânica total = $mc\Delta t \Rightarrow$

$$0,60.(50.E) = 50\ g.(0,1.4,2\ J/g°C).10\ °C \Rightarrow E = 7\ J$$

Questão 03 – Soma = 22

Comentário: A água tem calor especifico maior que o da terra. Por isso, durante o dia, a água do mar demora mais para esquentar do que o solo. À noite, a água do mar demora mais para se resfriar do que a terra. Portanto:

01. Falso

02. Verdadeiro

16. Verdadeiro

Durante o dia, a terra está mais quente do que o mar. Por isso, o ar sobre a terra se aquece, torna-se menos denso e se eleva. Então, o ar mais frio e denso que se acha sobre o mar sopra em direção ao o litoral. Durante a noite, ocorre o inverso. O mar é que está mais quente do que a terra. Por isso, o ar sobre o mar se aquece, torna-se menos denso e se eleva. Então, o ar mais frio e denso que se acha sobre a terra sopra em direção ao mar. Portanto:

04. Verdadeiro

08. Falso

Questão 04 – Letra D

Comentário: Se denominarmos o calor específico do bloco por c, o calor específico da água será 10c. O balanço de energia relativo ao contato do bloco com a primeira massa

de água é:

$Q_C + Q_R = 0 \Rightarrow 100.c.(T - 90) + 10.10c.(T' - 0) = 0 \Rightarrow T = 90 - T'$

O bloco, na temperatura T, deve ser transferido para a segunda massa de água. Ao ser inserido na segunda massa de água, o bloco e a água atingem o equilíbrio a uma temperatura T'. Essa é a temperatura que queremos determinar. O balanço de energia após o equilíbrio térmico ser atingido é:

$Q_C + Q_R = 0 \Rightarrow 100.c.(T' - T) + 10.10c.(T' - 0) = 0 \Rightarrow 2T' = T$

Resolvendo o sistema de equações, achamos: T = 60 ºC e T' = 30 ºC. Portanto, a temperatura do bloco no momento em que ele é transferido para a segunda massa de água é 60 ºC.

Questão 05 – Letra D

Comentário: O calor cedido pelo leite quente (aquecido pela resistência elétrica) que atravessa a serpentina do trocador de calor é igual ao calor recebido pelo leite frio que passa pela caixa onde está a serpentina. As vazões do leite frio e do leite quente são iguais, uma vez que um líquido é uma substância, praticamente, incompressível. Assim, o balanço de energia no trocador de calor é:

$Q_R + Q_C = 0 \Rightarrow \text{vazão}.c.(T - 5) + \text{vazão}.c.(20 - 80) = 0$

Cancelando as vazões e o calor específico dos dois escoamentos e resolvendo a equação, obtemos T = 65 ºC.

Questão 06 – Letra C

Comentário: Desprezando as perdas de calor para o ambiente, a soma do calor cedido pela massa de 150 g de água quente a 100 °C (Q_C: calor negativo) com o calor absorvido pela massa de 125 g da xícara a 9 °C (Q_R: calor positivo) é zero. Assim, resolvendo essa equação, obtemos a temperatura de equilíbrio da mistura:

$Q_C + Q_R = 0 \Rightarrow 150.c.(T_E - 100) + 125.\frac{c}{5}.(T_E - 9) = 0 \Rightarrow$
$175T_E = 15\,225 \Rightarrow T_E = 87\ °C$

Questão 07 – Letra C

Comentário: O corpo de cada rapaz está a uma temperatura maior do que a temperatura da água da piscina. Assim, a água, em contato com a pele, absorve calor, por condução térmica, do corpo de cada rapaz. Por isso, eles sentem frio.

Quando os jovens saem da água, a pele de cada um está molhada. Essa água, em contato com o ar seco, tende a evaporar. Como a evaporação demanda absorção de calor pela água, concluímos que o corpo de cada rapaz cede calor para a água evaporar. É por isso que, nesse momento, os rapazes sentem frio.

Portanto, diante da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.

Questão 09 – Letra C

Comentário: De acordo com o enunciado da questão, os objetos possuem a mesma massa e estão, inicialmente, à mesma temperatura e no estado sólido. Entretanto, os objetos são constituídos por materiais diferentes. A partir da análise do gráfico, verificamos que, no estado sólido, o material S sofre maior elevação de temperatura que o material R, para uma mesma quantidade de calor recebido. Logo, tendo em vista que os objetos possuem a mesma massa, conclui-se que o calor específico do material R é maior que o do material S, $c_R > c_S$. Observamos, também, a partir do gráfico, que a quantidade de calor necessária para que o objeto de material R sofra fusão completa é menor do que a quantidade de calor necessária para que o objeto de material S sofra fusão completa. Sabendo que os objetos possuem a mesma massa, podemos concluir que o calor latente de fusão do material R é menor que o do material S, $L_R < L_S$. Logo, a alternativa correta é a C.

Questão 10 – Letra D

Comentário: Inicialmente, vamos calcular a quantidade de calor que a massa de 5 g de água deveria ceder, caso sofresse um resfriamento de 20 ºC até 0 ºC e fosse totalmente solidificada. Esse calor seria:

$Q = mc\Delta T + mL_S = 5.1.(0 - 20) + 5.(-80) = -500\ \text{cal}$

Agora, vamos verificar o grau de aquecimento que a massa de 120 g de gelo deveria sofrer caso recebesse a quantidade de calor calculada anteriormente. Para isso, devemos igualar o valor de 500 cal ao calor sensível recebido pelo gelo:

$500 = mc\Delta T \Rightarrow 500 = 120.0{,}5.[T - (-15)] \Rightarrow T = -6{,}7\ ºC$

Portanto, na situação de equilíbrio, haverá gelo no recipiente a uma temperatura entre −6,7 ºC e 0 ºC.

Questão 11 – Letra D

Comentário: A linha que separa as regiões de sólido e de líquido no diagrama de fases é a curva de fusão da água. Cada ponto dessa linha indica, para uma dada pressão, o valor da temperatura de fusão do gelo. Essa curva deve ser inclinada para a esquerda, como nas figuras das alternativas B e D, pois, assim, um aumento de pressão implicará uma menor temperatura de fusão. Como em baixas temperaturas a água apresenta-se sempre na fase sólida, a alternativa D é a mais adequada, pois, como podemos ver, para baixas temperaturas, a água acha-se no estado sólido para qualquer pressão.

Questão 12 – Letra B

Comentário: Como as massas das esferas são iguais, mas o volume da esfera de cobre é menor que o da esfera de alumínio, concluímos que a densidade do cobre é maior que a densidade do alumínio.

A massa de gelo fundido é muito maior no caso da esfera de alumínio, que afundou dentro do bloco de gelo. Isso significa que houve uma maior transferência de calor da esfera para o bloco de gelo nessa situação. Esse calor é dado pela equação $Q = mc\Delta T$. Tendo em vista que a massa m é a mesma para as duas esferas e que a variação de temperatura ΔT também é igual para as duas esferas (ΔT é igual à temperatura ambiente menos 0 ºC, que é o ponto de fusão do gelo), concluímos que o calor específico do alumínio deve ser maior que o do cobre.

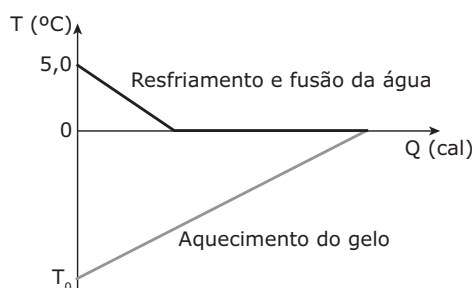
Portanto, a alternativa correta é a B.

Questão 13 – Letra A

Comentário: A capacidade térmica de um objeto é definida operacionalmente pelo quociente $C = Q/\Delta T$ (calor absorvido / cedido dividido pela variação de temperatura). Como os dois objetos receberam a mesma quantidade de calor e sofreram a mesma variação de temperatura, concluímos que suas capacidades térmicas são iguais. Professor, comente ainda com os alunos que a capacidade térmica também pode ser

determinada pelo produto C = m.c (massa do objeto multiplicada pelo calor específico do material). Como o calor específico do cobre é menor que o do alumínio, concluímos que, para as capacidades térmicas serem iguais, a massa do objeto de cobre é maior que a do objeto de alumínio (a rigor, 2,44 vezes maior, que é a razão entre os calores específicos do alumínio e do cobre).

Questão 14 – Letra B

Comentário: Inicialmente, a água líquida foi resfriada de 5 ºC até 0 ºC, cedendo calor para o bloco de gelo, que teve a sua temperatura aumentada. Após atingir a temperatura de 0 ºC, a água continuou cedendo calor para o gelo, de modo que a água começou a sofrer solidificação e se agregar ao bloco de gelo. Quando a massa de água solidificada atingiu o valor de 64 g, a temperatura global do bloco de gelo atingiu 0 ºC, de forma que o processo de transferência de calor da água para o bloco de gelo foi interrompido. O gráfico a seguir ilustra a troca de calor desde o instante em que a água estava a 5,0 ºC e o gelo estava à temperatura inicial T_0 até o instante final, quando os dois corpos atingiram o equilíbrio térmico a 0 ºC.

A massa inicial de água é m_A = 2 500 g, a massa de água solidificada é m_S = 64 g, e a massa inicial do gelo é m_G = 725 g. O calor latente de solidificação da água é L = −80 cal/g (o sinal negativo indica que a água deve ceder calor para se solidificar), o calor específico da água é c e o calor específico do gelo é c/2. Substituindo esses valores no balanço de energia desse exercício, obtemos a seguinte temperatura inicial para o gelo:

$Q_A + Q_S + Q_G = 0$

$\Rightarrow$ 2 500.c.(0 − 5,0) + 64.(−80) + 725.(c/2).(0 − T_0)

Resolvendo essa equação, obtemos T_0 = −48,6 ºC.

Questão 15

Comentário: A quantidade de calorias ingeridas ao comer o chocolate foi de 200 kcal, que, convertida para joules, é igual a:

$$E = 200 \text{ kcal} . 4\,200 \frac{J}{kcal} = 8,4 \times 10^5 \text{ J}$$

Durante a corrida, dissipando energia na taxa P = 500 J/s, a pessoa gastará o seguinte tempo para dissipar uma energia equivalente à do chocolate:

$$P = \frac{E}{t} \qquad 500 = \frac{8,4 \times 10^5}{t} \qquad t = 1\,680 \text{ s}$$

Na velocidade v = 1,5 m/s, a pessoa percorrerá, nesse intervalo de tempo, a seguinte distância:

$$d = v.\Delta t = 1,5.1\,680 = 2\,520 \text{ m} = 2,52 \text{ km}$$

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: I
Competência de área: 5
Habilidade: 17
Comentário: Essa questão é um ótimo exemplo de item do Enem: uma situação-problema (o conceito popular e incorreto de "calor" e "temperaturas"), o enunciado do item (que limitações essa falsa conceituação pode acarretar?) e as opções (todas fisicamente corretas, mas uma delas conflitante com o conceito popular de calor e temperatura).

A primeira coisa que você, professor, deve explicar aos alunos é que todas as cinco opções de respostas desse item são afirmativas fisicamente corretas. Por isso, alguns alunos podem ter dificuldades para resolver essa questão.

Se a temperatura fosse uma medida de quantidade de calor de um corpo, a temperatura de um corpo sempre deveria aumentar quando um corpo recebesse calor. Assim, durante a ebulição da água à pressão constante, a temperatura não poderia ficar constante. Por isso, o conceito popular de calor e temperatura entra em conflito com a constância da temperatura durante a mudança de fase de substâncias puras à pressão constante.

Questão 02 – Letra D

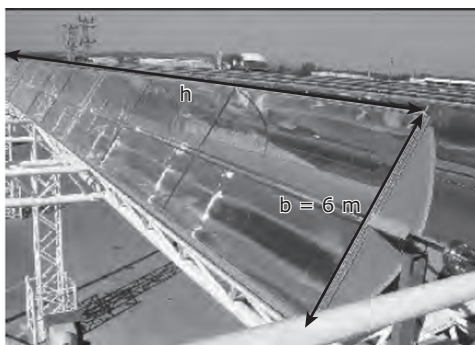
Eixo cognitivo: II
Competência de área: 6
Habilidade: 21
Comentário: A água é uma substância pura. O ponto de ebulição de uma substância pura depende da pressão a que a substância é submetida. Quanto maior for a pressão sobre a superfície livre de um líquido, maior será a temperatura na qual o líquido irá ferver, ou seja, maior será a temperatura na qual ele entrará em processo de ebulição. Por exemplo, sob a pressão atmosférica de 1 atm, típica das cidades ao nível do mar, a água inicia o processo de fervura quando sua temperatura atinge 100 °C. Em uma localidade de maior altitude, a pressão atmosférica é menor do que 1 atm, e, consequentemente, o ponto de ebulição da água é menor do que 100 °C. Por exemplo, na cidade de Belo Horizonte, que se acha a 850 m acima do nível do mar, a pressão atmosférica média vale 0,89 atm e a temperatura de ebulição da água é de 97 °C.

No experimento descrito nessa questão, a água da seringa voltou a ferver porque o levantamento do êmbolo provocou uma diminuição na pressão interna da seringa. Consequentemente, o ponto de ebulição da água também diminuiu. Por exemplo, digamos que a água dentro da seringa estava a 90 °C (a água se esfriou um pouco, depois de ser retirada da panela e ser introduzida na seringa). Nessa temperatura, a pressão de ebulição da água é de 0,73 atm. Essa pressão pode ser obtida facilmente, bastando levantar um pouco o êmbolo da seringa. Quando a pressão atingir esse valor, considerando que a temperatura da água se mantenha a 90 °C, a água volta a ferver.

Essa experiência pode ser realizada de forma mais simples, sem a necessidade de aquecimento do líquido. Para isso, a água deve ser substituída por éter etílico (produto cuja venda é controlada). O ponto de ebulição do éter etílico é baixo; a 1 atm, ele ferve a 35 °C. Por isso, o éter, à temperatura ambiente, pode ser introduzido na seringa, de forma que um pequeno deslocamento do êmbolo já é capaz de provocar a ebulição do líquido.

Questão 03 – Letra A

Eixo cognitivo: III
Competência de área: 6
Habilidade: 21
Comentário: A potência solar S (nessa questão, S = 800 W/m²) não é definida com base na área real exposta aos raios solares, ela é definida com base em uma área perpendicular aos raios

solares. Nessa questão, a área projetada do espelho parabólico é um retângulo de área A = b.h, em que a base b vale 6 m e a altura h é o valor procurado (veja figura).

Em uma 1 hora, o espelho parabólico recebe e reflete para o tubo com óleo a seguinte quantidade de energia:

E = S.(área projetada).(tempo) = 800 W/m^2.(h.6 m).(3 600 s) = 1,728 x 10^7 h

Essa energia será dada em joules, desde que o comprimento h seja dado em metros. A energia E deve ser usada para aquecer 1 m^3 de água (massa = 1 000 kg) de 20 °C a 100 °C, conforme informado na questão. Usando a equação para calcular o calor sensível e sabendo que o calor específico da água é c = 4 200 J/(kg°C), podemos determinar a energia necessária para aquecer a massa de água.

Q = m.c.ΔT = (1 000 kg).(4 200 J/kg°C).(100 °C – 20 °C)

$\Rightarrow$ Q = 3,36 x 10^8 J

Igualando os valores de E e de Q (admitindo um coletor solar com eficiência 100% e que o tubo possua capacidade térmica desprezível), obtemos o valor de h:

E = Q $\Rightarrow$ 1,726 x 10^7 h = 3,36 x 10^8 $\Rightarrow$ h = 19,4 m

Questão 04 – Letra C

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: A transformação mencionada no texto é a evaporação, pois, quando a água líquida absorve calor, de modo que algumas moléculas de água se soltam do líquido e sobem para a atmosfera, tais moléculas passam do estado líquido para o estado de vapor. Professor, explique que a evaporação da água é a passagem do estado líquido para o estado de vapor de forma lenta e sem turbulência e que pode ocorrer, para uma dada pressão, a temperaturas diferentes. Já a ebulição da água é a passagem do estado líquido para o estado de vapor de forma mais turbulenta e que ocorre, para uma dada pressão, apenas em certa temperatura. Por exemplo, a 1 atm, a água ferve apenas se a temperatura for de 100°C.

Questão 05 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: O processo de dessalinização da água descrito na montagem desta questão é constituído de duas etapas. Na 1ª delas, a água sofre evaporação depois de absorver energia solar. A 2ª etapa do processo é a condensação do vapor de água, que, ao entrar em contato com o plástico da cobertura, libera calor para o meio externo. Por isso, o vapor condensa. A mesma energia absorvida pela água na evaporação é cedida pelo vapor na condensação, pois o calor latente de vaporização é igual ao calor latente de condensação.

Questão 06 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 3

Habilidade: 21

Comentário: O piso da quadra deve ter alta capacidade térmica, pois um corpo com tal característica pode receber uma quantidade significativa de calor sem sofrer muita elevação de temperatura. O exemplo clássico disso é o mar. Além da grande massa do mar, a água tem um calor específico alto, de modo que a capacidade térmica do mar é muito alta. Por isso, durante o dia, a temperatura da água do mar não sofre grandes elevações. Usando a mesma ideia, o piso da quadra dever ser feito de um material denso, para que a massa do piso seja alta, e de elevado calor específico.

Questão 07 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: A suposta massa de gelo dos polos, derretida por ano devido ao aquecimento global, pode ser estimada por meio da equação Q = m.L, em que m é a massa procurada, Q = 1,6 x 10^{22} J é a quantidade de calor fornecido ao gelo anualmente e L = 3,2 x 10^5 J/kg é calor latente de fusão do gelo. Substituindo esses valores na equação, obtemos:

1,6 x 10^{22} J = m.3,2 x 10^5 J/kg

$\Rightarrow$ m = 50 x 10^{15} kg

Portanto, a alternativa correta é a B.

Questão 08 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 4

Habilidade: 14

Comentário: A água, para evaporar, deve receber calor. Por isso, quando transpiramos, evaporando água do nosso corpo para o ar através dos poros, o nosso corpo cede calor para essa água. O elevado calor latente de vaporização da água (L_V = 540 cal/g) indica que mesmo uma pequena quantidade de água necessita ganhar muito calor para sofrer vaporização. Por isso, a transpiração consiste em um dos mais eficientes mecanismos biológicos que permitem regular a nossa temperatura corpórea.

Questão 09 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: Conforme foi explicado na resolução da questão 01, a temperatura de ebulição da água depende da pressão que é exercida sobre sua superfície livre. Quanto maior for essa pressão, maior será a temperatura de fervura da água. Em uma panela de pressão, quando a água ferve, a pressão interna na panela é próxima a 2 atm. Do gráfico dado nessa questão, vemos que a temperatura de ebulição para essa pressão é cerca de 120 °C. Portanto, o cozimento de alimentos é mais rápido em uma panela de pressão simplesmente porque a temperatura de ebulição da água nessa panela é maior do que aquela que seria observada em uma panela aberta. Por exemplo, ao nível do mar, a pressão vale 1 atm, e a temperatura de ebulição da água é de 100 °C. Esse valor pode ser observado no gráfico dessa questão.

Da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a B.

Questão 10 – Letra E

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: À pressão constante, depois que a água atinge o ponto de ebulição, a temperatura da água não se altera mais. No caso de uma panela de pressão, conforme foi explicado na resolução da questão 04, essa temperatura é cerca de 120 °C. Por isso, podemos abaixar o fogo sob a panela de forma apenas a manter a fervura da água, que a temperatura da água permanecerá constante. Há pelo menos duas vantagens em fazer isso. A primeira é que haverá significativa economia de energia, pois, como a temperatura da água continuará sendo de 120 °C, o alimento será cozido no mesmo tempo, independentemente de o fogo estar alto ou mais baixo. A outra vantagem é que, a fogo baixo, a água levará mais tempo para secar, reduzindo o risco de o alimento queimar por falta de água.

Assim, a alternativa correta é a E.

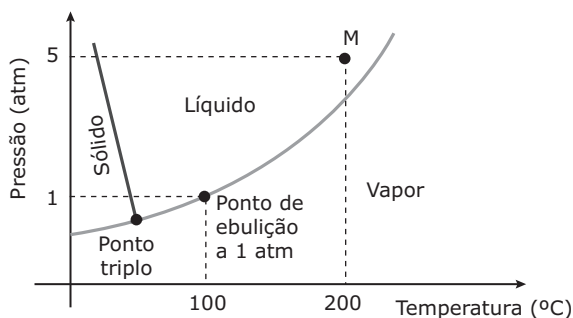
Questão 11 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

A) A confirmação da existência de água no estado de vapor na atmosfera de um planeta não garante que a água possa também existir no estado líquido nesse planeta, pois o estado da água, e de outras substâncias puras, depende da pressão e da temperatura da substância. É possível que, em alguma parte do planeta, os valores de temperatura e de pressão proporcionem as condições necessárias para a existência de água líquida. Por exemplo, para p = 5 atm e T = 200 °C, a água está no estado líquido, conforme indica o ponto M no diagrama de fases da água apresentado a seguir. Porém, não há a garantia da existência de água líquida apenas pela constatação da existência de vapor de água na atmosfera do planeta.

B) A temperatura de ebulição da água depende da pressão. De fato, como pode ser observado no diagrama anterior, para a pressão de 1 atm, a temperatura de ebulição da água vale 100 °C. Mas a temperatura de ebulição da água é maior que 100 °C quando a pressão exercida sobre sua superfície livre é maior que 1 atm, e menor que 100 °C para pressões menores que 1 atm.

C) O calor de vaporização é uma propriedade termodinâmica que depende da substância e da pressão exercida sobre esta. No caso da água, submetida à pressão de 1 atm, a temperatura de ebulição é de 100 °C. Nessas circunstâncias, uma quantidade de calor igual a $5{,}4 \times 10^5$ cal é necessária para vaporizar 1 kg de água no estado líquido. Esse valor é chamado de calor latente de vaporização.

D) À certa pressão, quando uma temperatura igual ou maior do que a temperatura de ebulição do líquido é atingida, o líquido abre fervura, com a formação de bolhas em seu interior.

E) Mesmo quando o aquecimento da água ocorre com a máxima variação de temperatura, de 0 °C a 100 °C, o tempo para vaporizá-la completamente é maior do que o tempo para aquecê-la. A vaporização da água é 5,4 vezes mais demorada do que o aquecimento dela de 0 °C a 100 °C. Para obtermos esse valor, basta dividirmos o calor de vaporização Q_V = m.L (m é a massa, e L = 540 cal/g é o calor latente de vaporização da água) pelo calor sensível de aquecimento, $Q_A = m.c.\Delta T$ (c = 1,0 cal/(g°C) é o calor específico da água líquida, e ΔT = 100 °C é a elevação de temperatura da água). A razão de 5,4 entre Q_V e Q_A é também a razão entre os tempos de aquecimento e de vaporização da água, pois a taxa de fornecimento de calor é constante durante todo o processo. Observe que a massa m é cancelada, pois ela é a mesma no aquecimento e na vaporização, uma vez que a vaporização é completa. Por fim, veja o gráfico da temperatura em função do tempo mostrado na figura 6, do Módulo B 03 do Caderno Principal. Parte dele ilustra esse processo. O gráfico também ilustra o aquecimento e a fusão do gelo. Neste gráfico, veja que o tempo de fusão também é superior ao tempo de aquecimento do gelo. Porém, como o calor latente de fusão (L = 80 cal/g) não é tão grande quanto o de vaporização, e como o calor específico do gelo (c = 0,5 cal/g°C) é da ordem do calor específico da água líquida, o tempo de fusão não é muito maior do que o tempo de aquecimento do gelo. De fato, se o aquecimento do gelo principiasse de uma temperatura muito baixa (menor do que −160 °C), o tempo de aquecimento do gelo seria maior do que o tempo de fusão dele.

Das análises anteriores, conclui-se que a alternativa correta é a C.

MÓDULO – B 04

Gases

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra D

Comentário: Um gás real comporta-se como gás ideal (ou seja, a equação pV = nRT é válida para esse gás) quando suas moléculas acham-se suficientemente distantes umas das outras para que não ocorra interação entre elas. Para se ter essa condição, o gás deve ter uma densidade baixa, e isso ocorre cada vez mais à medida que a pressão do gás é reduzida e a temperatura é aumentada. O critério que garante um comportamento de gás ideal é o seguinte: p << pressão crítica e T >> temperatura crítica. Em muitos casos, apenas a primeira condição já é suficiente para o gás se comportar idealmente.

Questão 02 – Letra B

Comentário: Primeiramente, vamos calcular o volume da bola cheia:

$$V = 4\pi R^3/3 = 4.3.(20\ cm/2)^3/3 = 4\ 000\ cm^3 = 4\ L$$

Agora, usando a lei de gás ideal, vamos calcular a quantidade de ar na bola:

$pV = nRT \Rightarrow 1{,}0\ atm.4\ L = n.(0{,}080\ atm.L/mol.K).300\ K \Rightarrow n = 5/30\ mol$

Por fim, vamos calcular a massa de ar na bola:

$n = m/M \Rightarrow m = (5/30\ mol).(30\ g/mol) = 5{,}0\ g$

Questão 03 – Letra B

Comentário: Antes de usar a relação de gás ideal para comparar o estado inicial (1) e o estado final (2) do ar no pneu, é preciso converter as pressões manométricas do ar para pressões absolutas. Uma pressão manométrica é a diferença entre a pressão absoluta do fluido e a pressão atmosférica local. Portanto, somando-se as pressões manométricas do ar com o valor da pressão atmosférica local p_0, acharemos as pressões absolutas do ar. Considerando p_0 = 1 atm = 1,01 x 10^5 Pa ≈ 100 kPa, as pressões absolutas do ar no pneu serão p_1 = 300 kPa e p_2 = 360 kPa. Agora, podemos usar a relação de gás ideal pV/T = constante para comparar os estados 1 e 2 do ar. Lembrando que a temperatura nessa fórmula é expressa na escala absoluta, temos:

$$\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_1 V_1}{T_1} \quad \frac{360.1{,}10V_1}{T_2} = \frac{300.V_1}{263} \quad T_2 = 347\ K = 74°C$$

Questão 04 – Letra B

Comentário: No processo a → b, a pressão p varia proporcionalmente com a temperatura absoluta T. Como p = (nR/V)T, concluímos que a fração nR/V é constante, implicando que o volume V do gás é constante. Por leitura direta, vemos que o processo b → c é isobárico e o processo c → a é isotérmico. Assim, no diagrama p x V, o processo a → b deve ser uma reta vertical, com a pressão aumentando. O processo b → c deve ser uma reta horizontal, com o volume diminuindo. Podemos explicar que $T_c < T_b$, notando que o produto pV para o ponto c é menor do que esse produto para o ponto b. Por fim, o processo c → a é uma hipérbole, com a pressão diminuindo. Essa curva representa uma função inversa que, nesse caso, é a função p = C/V, em que C = nRT é constante porque T é constante.

Da discussão anterior, conclui-se que o diagrama correto está representado na alternativa B.

Questão 05 – Soma = 23

Comentário:

01. V

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{4{,}98 \times 10^4 .1{,}2}{8{,}3.300} = 24 \text{ mols}$$

02. V

$N = n.N_A$ = 24.6 x 10^{23} = 1,44 x 10^{25} moléculas

04. V

$$u = \frac{3}{2}KT = \frac{3}{2}.1{,}4 \times 10^{-23}.300 = 6{,}3 \times 10^{-21}\ J$$

08. F

Mantendo inalterados o volume e a quantidade de gás, a pressão é diretamente proporcional à temperatura em escala Kelvin, e não na escala Celsius. Assim, embora o valor da temperatura cresça de 100% ao passar de 27°C para 54°C, na escala Kelvin, a temperatura passa de 300 K para 327 K, correspondendo a um aumento de apenas 9%. Esse é o aumento da pressão, que passa de 49,8 kPa para 54,3 kPa.

16. V

Mantendo inalterados a temperatura e o volume, a pressão é diretamente proporcional à quantidade de gás. Assim, duplicando o número de mols, a pressão do gás também duplica.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra D

Comentário: O ar começará a entrar no pneu assim que a pressão na bomba for ligeiramente maior que a pressão do ar pré-existente no pneu: 3 x 10^5 N/m². Como o processo de compressão do ar na bomba é isotérmico, a seguinte relação entre o estado inicial (1) e final (2) do ar pode ser empregada para resolver este exercício (p é a pressão e V é o volume de ar dentro da bomba; A e L são a área da seção transversal da bomba e o comprimento do espaço cilíndrico ocupado pelo ar dentro da bomba, respectivamente):

$$p_2 V_2 = p_1 V_1 \Rightarrow p_2 (\cancel{A}.L_2) = p_1 (\cancel{A}.L_1) \Rightarrow p_2 L_2 = p_1 L_1$$

Substituindo os valores dados, obtemos:

3 x 10^5 L_2 = 10^5 L_1 ⇒ L_1/L_2 = 3

Substituindo L_1 = 42 cm (1ª figura do exercício) nessa relação, obtemos L_2 = 14 cm. Da 2ª figura do exercício, vemos que o deslocamento da bomba é d $L_1 - L_2$ = 42 – 14 = 28 cm.

Questão 02 – Letra B

Comentário: De acordo com o enunciado da questão, o êmbolo pode deslizar sem atrito. Logo, a pressão a que o gás está submetido, durante todo o processo, é a pressão atmosférica. Sendo assim, o gás sofre uma transformação isobárica. Utilizando a equação de estado de um gás ideal, temos:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \frac{Ah_1}{T_1} = \frac{Ah_2}{T_2} \quad h_2 = \frac{h_1 T_2}{T_1}$$

Assim, a altura do êmbolo é de 22 cm quando o gás encontra-se à temperatura de 60 ºC. Logo, a altura do êmbolo sofre uma variação de 10% nessa transformação.

Questão 03 – Letra D

Comentário: De acordo com a equação de Clapeyron (equação geral dos gases ideais), o número de mols de nitrogênio no volume de 3,0 L, temperatura T e pressão de 5,0 atm e o número de mols de oxigênio no volume de 2,0 L, temperatura T e pressão de 4,0 atm são iguais a:

$$n_{N_2} = \frac{5{,}0.3{,}0}{RT} = \frac{15}{RT} \text{ e } n_{O_2} = \frac{4{,}0.2{,}0}{RT} = \frac{8{,}0}{RT}$$

Se esses gases forem misturados em um recipiente de 10 L, o número de mols total será:

$$n = n_{N_2} + n_{O_2} = \frac{23}{RT}$$

de forma que a fração molar de nitrogênio será 15/23 = 0,652 (65,2%) e a de oxigênio será e 34,8%. Assim, como a massa molar do nitrogênio vale 28 g/mol e a do oxigênio vale 32 g/mol, a massa molar desta mistura será:

$$M_{mist} = \frac{65{,}2.28 + 34{,}8.32}{100} = 29{,}4\ g/mol$$

Por fim, a pressão da mistura gasosa será:

$$pV = nRT \quad p.10 = \frac{23}{\cancel{RT}}\cancel{RT} \quad p = 2{,}3\,atm$$

Questão 05 – Letra E

Comentário: A relação entre as temperaturas nos estados A, B e C pode ser determinada por:

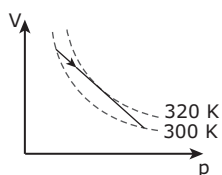
$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_B V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{2\cancel{p_1} V_1}{T_A} = \frac{\cancel{p_1} 3V_1}{T_B} \Rightarrow 2T_B = 3T_A$$

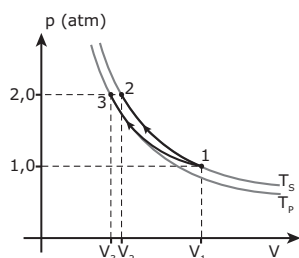
$$\frac{p_B V_B}{T_B} = \frac{p_C V_C}{T_C} \Rightarrow \frac{\cancel{p_1} 3V_1}{T_B} = \frac{\cancel{p_1} V_1}{T_C} \Rightarrow T_B = 3T_C$$

$T_B = \frac{3}{2}T_A$ e $T_B = 3T_C \Rightarrow \frac{3}{2}T_A = 3T_C \Rightarrow T_A = 2T_C$

Logo, a alternativa correta é a E.

Questão 06 – Letra C

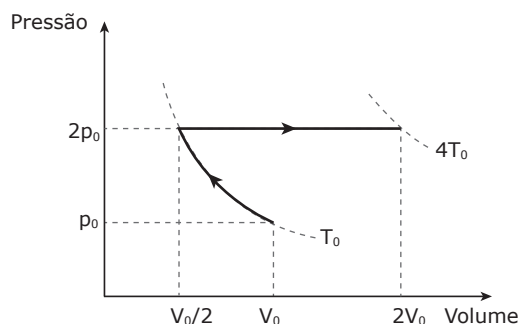
Comentário: De acordo com a equação p = nRT/V, em que nRT é constante (processo isotérmico), p e V são inversamente proporcionais. Por isso, o gráfico III pode representar um processo isotérmico. De acordo com a equação V = (nR/p)T, em que nR/p é constante (processo isobárico), V é diretamente proporcional a T. Por isso, o gráfico IV pode representar um processo isobárico. De acordo com a equação p = (nR/V T, em que nR/V é constante (processo isovolumétrico), p é diretamente proporcional a T. Por isso, o gráfico II pode representar um processo isovolumétrico. Os gráficos I e V representam processos politrópicos, em que p, V e T variam. No gráfico V, por exemplo, se a pressão aumentar (e o volume diminuir), primeiro a temperatura irá aumentar até um valor máximo e depois diminuirá, podendo voltar ao valor inicial, conforme sugere o diagrama a seguir (no gráfico p x V, assim como no gráfico V x p, as isotérmicas mais externas também representam as maiores temperaturas).

Questão 07 – Letra C

Comentário: Nesse tipo de problema, é comum a temperatura do lago ser considerada constante, de forma que a transformação do gás (em geral, uma bolha de ar que sobe do fundo para a superfície) é isotérmica. Nesse caso, a pressão p e o volume V são inversamente proporcionais (Lei de Boyle-Mariotte). No presente problema, a temperatura do lago é variável, pois o volume do balão diminuiu para pouco menos da metade quando a pressão dobrou de valor (na superfície, p_S = 1 atm e, na profundidade de 10 m, p_P = 1 + 1 = 2 atm). De acordo com a equação geral dos gases ideais, como o volume é dado por V = nRT/p, concluímos que, para o volume V sofrer uma redução mais significativa, T deve diminuir. Assim, $T_P < T_S$. Uma maneira interessante de constatar essa resposta é por meio do diagrama p x V a seguir. Observe as duas curvas isotérmicas de temperaturas T_P e T_S. A curva referente a T_S é mais externa em relação à origem, porque $T_S > T_P$. Agora, observe a transformação 1 → 2, que é isotérmica e que seria a transformação que ocorreria se o lago tivesse temperatura uniforme. Veja que $V_2 = V_1/2$, pois $p_2 = 2p_1$. Por último, observe a transformação 1 → 3, a que, de fato, ocorreu durante a descida do balão. Veja que V_3 é um pouco menor do que $V_1/2$. Isso ocorreu porque, durante o processo, o gás sofreu um resfriamento.

Questão 08 – Letra C

Comentário: Lembrando que a temperatura na equação dos gases ideais é expressa na escala absoluta, podemos usar a seguinte relação para obter a temperatura no fundo do lago:

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \quad \frac{3.\cancel{V}}{T_1} = \frac{0,8.4\cancel{V}}{300} \quad T_1 = 281\text{K} = 8\,^\circ\text{C}$$

Questão 09 – Letra E

Comentário: Na 1ª transformação, que foi uma compressão isotérmica, na qual o volume o inicial V_0 foi reduzido para $V_0/2$, não houve variação de temperatura, que se manteve igual a T_0 (temperatura absoluta). Porém, de acordo com a equação de gás ideal, mantidas inalteradas a quantidade de gás e a temperatura, a pressão varia inversamente com o volume. Portanto, nessa 1ª transformação, a pressão aumentou de p_0 para $2p_0$. Na transformação seguinte, que foi isobárica, o volume tornou-se $2V_0$. Portanto, nessa 2ª transformação, o volume foi multiplicado por 4. De acordo com a equação de gás ideal, mantidas inalteradas a quantidade de gás e a pressão, a temperatura absoluta é proporcional ao volume. Assim, na 2ª transformação, a temperatura absoluta aumentou de T_0 para $4T_0$. O gráfico a seguir da pressão *versus* volume apresenta as duas transformações deste exercício. Professor, não deixe construir este gráfico para os alunos.

Questão 10 – Letra C

Comentário: À medida que o balão sobe, atingindo maiores altitudes, a pressão externa diminui, pois o ar é mais rarefeito em grandes altitudes. A temperatura do ar também diminui, pois as camadas mais altas da atmosfera recebem uma menor quantidade do calor transmitido por convecção da superfície da Terra (lembrando também que os raios solares atravessam a atmosfera, sendo pouco absorvidos por esta). Assim, se, por um lado, o volume do balão tende a aumentar devido à redução da pressão, por outro lado, o volume tende a diminuir devido à contração térmica. Como na equação V = nRT/p a temperatura é dada na escala absoluta, uma redução de vários graus Celsius em T pode corresponder a uma pequena variação percentual na escala Kelvin. Nesse problema, é isso que ocorre, de forma que o efeito da redução da temperatura é menos significativo do que o efeito da redução da pressão, e o resultado é que o volume do balão aumenta. Seria conveniente confrontar valores numéricos para ilustrar esse comportamento. Ao nível do mar, para p = 1 atm e T = 20 ºC = 293 K, a quantidade de 0,1 mol de gás do balão ocupa o seguinte volume:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{0{,}1.0{,}082.293}{1} = 2{,}4\text{ L}$$

A 5 mil metros de altitude, por exemplo, a pressão atmosférica é cerca de 0,5 atm e a temperatura é cerca de −30 ºC (243 K). Nesse caso, o volume do gás é:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{0{,}1.0{,}082.243}{0{,}5} = 4{,}0\text{ L}$$

Questão 11 – Letra D

Comentário: O resfriamento do ar ocorre a volume constante. Por isso, a pressão interna diminui de um fator igual à razão entre a temperatura absoluta final (−18 ºC = 255 K) e a temperatura absoluta inicial (27 ºC = 300 K). Portanto, se a pressão inicial é p_0 (pressão atmosférica), a pressão interna depois do resfriamento é:

$$p = \frac{255}{300}p_0 = 0{,}85p_0$$

Isso quer dizer que, para abrir a porta, uma pessoa deve exercer uma força que gere uma pressão suplementar de, pelo menos, 15% da pressão p_0. Essa pressão, somada à pressão interna (que vale 85% de p_0), produzirá uma pressão igual à externa. Se admitirmos uma área A = 0,20 m² (esse é um valor típico para a área de uma porta do compartimento superior de uma geladeira duplex), e considerando $p_0 = 10^5$ N/m² (≈ 1 atm), então a força feita pela pessoa será:

$$p = \frac{F}{A} = \text{Pressão suplementar} \Rightarrow F = p.A$$

$F = 0{,}15 \times 10^5.0{,}20 = 3 \times 10^3$ N = 300 kgf

Essa é uma força muito grande. Uma pessoa comum não consegue exercer uma força de tal intensidade. Logo após o fechamento da porta, como existe muita diferença de pressão entre o lado interno e o ambiente, uma massa de ar atmosférico acaba passando pelas brechas de vedação da porta, fazendo com que a pressão interna volte a ser 1 atm, permitindo a abertura da porta. Calcular o valor da massa de ar que entra no *freezer* após seu fechamento é um bom desafio para ser colocado na sala de aula. Para calcular essa massa, devemos calcular, primeiramente, a quantidade de ar (em mols) correspondente, substituindo o volume do *freezer* (280 L), a temperatura de 255 K e a pressão de 1 atm (que é restabelecida) na equação geral de estado dos gases ideais. Usando a massa molar do ar (29 g/mol), podemos calcular o valor dessa massa de ar.

Questão 12 – Letra C

Comentário: A energia cinética média de translação (u) de um gás ideal é proporcional à temperatura absoluta do gás (T), mas não à temperatura em graus Celsius. Esse comportamento independe do tipo de gás e também independe da massa do gás. A energia cinética total é que depende da massa do gás. Portanto, a alternativa correta é a C.

Questão 13 – Letra A

Comentário: O aumento da energia cinética média (u) é decorrente de um aumento na temperatura, pois u = 3KT/2. Para uma transformação a volume constante, quando T aumenta, p também aumenta. Logo, a alternativa correta é a A.

Questão 15

Comentário:

A) A pressão no fundo é dada pela equação fundamental da hidrostática:

$p = p_0 + \rho gH = 1{,}0 \times 10^5 + 1{,}0 \times 10^3.10.30 =$

$4{,}0 \times 10^5$ N/m² = 4,0 atm

B) Uma vez que a Lei de Boyle relaciona as pressões e os volumes iniciais e finais de um gás à temperatura constante, conhecendo-se o valor da pressão inicial p_o e a relação entre os volumes inicial V_0 (volume do pulmão na superfície) e final V_1 (volume do pulmão a uma profundidade de 30 m), e considerando-se que V_1 poderá atingir uma contração máxima correspondente a 25% de V_0, pode-se escrever

$$V_1 = (25/100) \times V_0 = 0{,}25 \times V_0.$$

Substituindo os valores na expressão da Lei de Boyle ($p_0V_0 = p_1V_1$), podemos calcular a pressão que comprime o volume do pulmão no valor máximo de 25%:

$p_2V_2 = p_1V_1 \Rightarrow p_2 = P_1V_1/V_2 \Rightarrow p_2 = 1{,}0 \times 10^5.V_1/V_2 \Rightarrow p_2 = 1{,}0 \times 10^5.V_1/0{,}25V_1 \Rightarrow p_1 = 1{,}0 \times 10^5/0{,}25 = 4{,}0 \times 10^5$ N/m²

Como essa pressão é exatamente a pressão no mergulhador a 30 m, ele não poderá descer além dessa profundidade sem riscos para o seu pulmão.

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: De acordo com o enunciado, o vapor de água presente na atmosfera exerce uma pressão parcial, que é a pressão de vapor na temperatura ambiente (valor dado: $3{,}6 \times 10^3$ Pa) multiplicada pela umidade relativa (valor dado: 0,50). Assim, temos $p_V = 1{,}8 \times 10^3$ Pa. Essa pressão é muito baixa (muitas vezes menor do que a pressão crítica da água), de forma que o vapor de água pode ser tratado como gás ideal. Então, usando a equação de gás ideal com a pressão $p_V = 1{,}8 \times 10^3$ Pa, a temperatura ambiente T = 300 K e o volume V = 2 000 m³ (tanto o ar como o vapor ocupam todo o volume do ambiente), obtemos a seguinte quantidade de vapor de água (em mols) misturada no ar:

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{1{,}8 \times 10^3.2\,000}{8.300} = 1{,}5 \times 10^3 \text{ mol}$$

Como a massa molar da água vale 18 g/mol (0,018 kg/mol), concluímos que há a seguinte massa de água presente no ar:

$m = n.M = 1{,}5 \times 10^3$ mol.0,018 kg/mol = 27 kg

Como a densidade da água (no estado líquido) vale 1 kg/L, é possível, teoricamente, condensar 27 L de água desse ambiente. Isso pode ser feito passando o ar por serpentinas de resfriamento que se acham a uma temperatura igual ou menor do que a temperatura de condensação da água presente no ar (ponto de orvalho). À medida que essa água é extraída, o ponto de orvalho torna-se cada vez mais baixo. O mesmo ocorre com a umidade do ar. Por isso, quando a umidade for muito baixa, o processo de extração de água se tornará muito difícil e oneroso. Na prática, não será viável extrair toda a água do ambiente.

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Esta questão aborda o conceito de umidade do ar e pode ser resolvida com certa facilidade usando apenas as informações dadas no gráfico e no texto da questão.

A) Professor, muitos alunos raciocinam que a insolação faz evaporar a água do solo e de lagos, causando um aumento da quantidade de vapor presente no ar. Nesse caso, a umidade do ar realmente poderia aumentar com a insolação. Porém, em temperaturas ambientes muito baixas, como no caso desta questão (observe que as temperaturas variam entre 3 °C e 10 °C), praticamente não há evaporação de água. Nesta questão, o aluno deve se ater às informações dadas no gráfico, que mostra claramente que a umidade relativa do ar aumenta quando a temperatura do ar diminuiu, e que essa umidade diminui quando a temperatura aumenta. Há indícios dessa relação inversa entre a umidade e a temperatura em todos os trechos do gráfico: entre 0 e 6 horas da manhã, a temperatura do ar diminuiu e a umidade relativa do ar aumenta; das 6 horas às 16 horas, a temperatura aumenta, e a umidade diminui; das 16 às 24 horas, a temperatura diminui, e a umidade aumenta.

B) Professor, conforme explicado na alternativa A, no caso do ar desta questão, quando a temperatura aumenta, quase não há evaporação de água e, portanto, não há incorporação de vapor no ar. O que acontece é que, com o aumento da temperatura, o ar aumenta a sua capacidade de armazenar vapor antes de ficar saturado.

O aumento da temperatura “abre” mais espaço entre as moléculas. Uma massa de ar frio e com uma umidade relativa de 90% está quase que saturada. Porém, se aquecido, o ar aumenta a capacidade de armazenar vapor, de modo que a umidade relativa pode abaixar, por exemplo, para 80%.

C) Como discutido na alternativa A, a relação entre a umidade relativa do ar e a temperatura não é direta, mas inversa.

D) Existe uma grandeza física chamada de umidade absoluta. Ela sim indica a quantidade de vapor presente na atmosfera. No entanto, a umidade relativa indica outra coisa. Conforme explicado no texto desta questão, a umidade relativa é uma medida da quantidade de vapor presente no ar em relação à quantidade máxima de vapor que esse ar pode conter. Nesta questão, quando a temperatura do ar aumenta, a umidade relativa do ar diminui, mas a umidade absoluta não se altera.

E) A variação na umidade relativa do ar ao longo do dia se verifica tanto no inverno (como no caso desta questão), como no caso do verão. Nesse último caso, o efeito da evaporação da água também deve ser levado em conta, de modo que a curva de variação da umidade relativa do ar em função da temperatura ambiente é mais complexa.

Questão 03 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: O ar aprisionado dentro do frasco acha-se à pressão de 1 atm, pois o frasco foi fechado em uma cidade que encontra-se ao nível do mar. Essa pressão pode ser avaliada pela expressão p = nRT/V, em que n é a quantidade de ar aprisionado em mols, R é a constante universal dos gases, T é a temperatura absoluta, e V é o volume ocupado pelo ar. Durante a viagem, a pressão exercida pelo ar aprisionado varia muito pouco, pois o volume e a massa desse ar não variam e a sua temperatura, que pode mudar um pouco, exerce pequena influência sobre a pressão, pois é medida na escala kelvin. Ainda que na escala Celsius uma variação de temperatura possa ser significativa, na escala kelvin, essa variação tem uma importância muito menor. Por exemplo, se a temperatura do ar aprisionado mudar de 298 K (25°C) para 288 K (15°C), haverá uma variação de apenas 10 K em 298 K, ou seja, uma variação de apenas 3,3% na temperatura absoluta (na escala Celsius, essa variação seria de 40%). Como a pressão depende diretamente da temperatura absoluta, concluímos, nesse caso, que a pressão também sofre a pequena diminuição de 3,3%. Durante a viagem, à medida que altitudes mais altas são atingidas, a pressão atmosférica externa diminui de valor. Em Belo Horizonte, essa pressão vale 0,9 atm, ou seja, a pressão externa é 10% menor do que a pressão interna (caso esta continue valendo 1 atm). Mesmo que a pressão interna sofra uma pequena redução devido à diminuição da temperatura, a tendência é que a pressão interna seja maior do que a pressão externa. É por isso que a tampa do frasco se abre, fazendo com que o xampu derrame dentro da mala. Uma maneira prática de evitar isso seria comprimir um pouco o frasco, antes de ele ser fechado na cidade praiana. Assim, as paredes do frasco ficariam encurvadas para dentro do recipiente, de modo que essas paredes é que voltariam à posição normal quando altitudes maiores fossem atingidas. Então, o ar aprisionado internamente se expandiria e passaria a exercer uma pressão menor debaixo da tampa, de forma que não haveria mais um desequilíbrio exagerado entre as pressões interna e externa.

MÓDULO – C 03

Espelhos esféricos

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra C

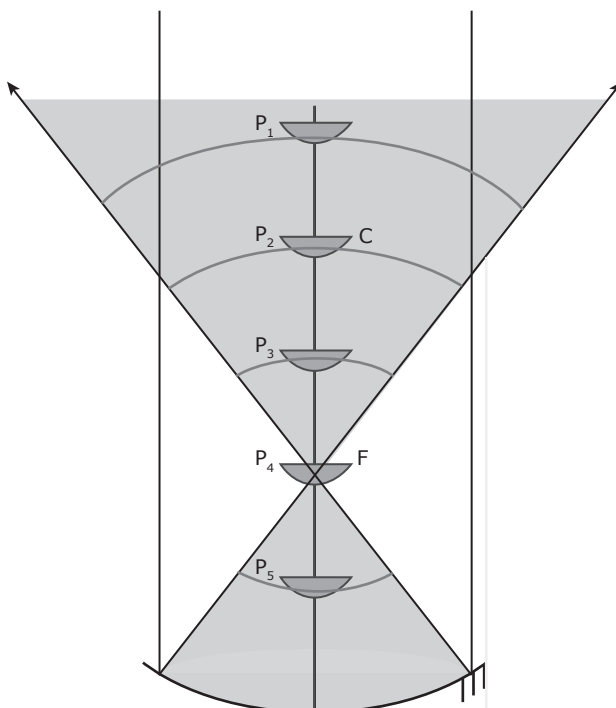
Comentário: O professor deve calcular a distância da imagem ao espelho côncavo usando as equações de Gauss e da ampliação para mostrar que a imagem é duas vezes maior que o objeto, mas deve também chamar a atenção dos alunos para o fato de que não há necessidade de realizar esses cálculos para responder a questão. Veja a solução a seguir:

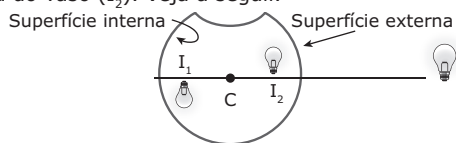
A distância focal do espelho côncavo é f = 1,0 m e o caminhão está colocado a D_O = 0,5 m do espelho. Assim, a imagem é virtual, maior e invertida lateralmente (porém, sem inversão vertical). O espelho plano, por sua vez, produz da imagem formada pelo côncavo outra imagem de mesmo tamanho, com inversão lateral (porém, sem inversão vertical). Como temos duas inversões laterais, a imagem será direta na horizontal. Dessa forma, a imagem final será maior que o objeto, sem inversões lateral e vertical.

Questão 02 – Letra D

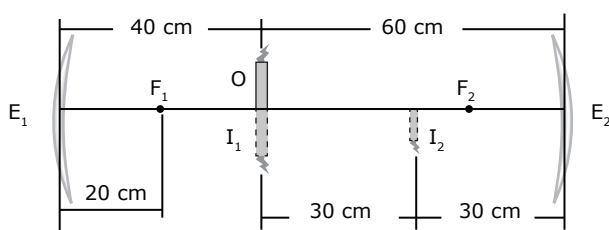
Comentário: Observe que a imagem é real e invertida. O único espelho que forma esse tipo de imagem é o côncavo. Como a imagem é real e maior que o objeto, este deve estar posicionado entre o foco e o centro de curvatura do espelho.

Questão 03 – Letra B

Comentário: A figura a seguir mostra a luz que incide e reflete no espelho (passando pelo foco F). Observe os “triângulos” coloridos. Eles representam o feixe de energia que refletiu no espelho. Veja que a frigideira P_4 recebe toda a energia do feixe e, por isso, vai atingir a maior temperatura. As frigideiras P_3 e P_5 absorvem o mesmo percentual de energia do feixe refletido. Esse percentual é menor que o absorvido pela frigideira P_4. A frigideira P_2 recebe percentual de energia menor que P_3. A frigideira P_1 recebe o menor percentual de energia de todas. Assim, para cada frigideira, a ordem de temperaturas será: $P_4 > P_3 = P_5 > P_2 > P_1$.

Questão 04 – Letra E

Comentário: Para facilitar o entendimento do aluno, o professor deve substituir a janela por uma lâmpada. A imagem formada pela superfície interna do vaso, que funciona como espelho côncavo, será real, invertida e estará à frente da superfície interna do vaso (I_1). A imagem formada pela superfície externa do vaso, que funciona como espelho convexo, será virtual, direta e estará atrás da superfície externa do vaso (I_2). Veja a seguir.

Dessa forma, a alternativa correta é a E.

Questão 05 – Letra C

Comentário: A figura a seguir mostra os espelhos, a primeira imagem formada por cada um deles e as dimensões relevantes.

Veja que o objeto (O) se encontra a uma distância $D_o = 2f$ do espelho 1 e, dessa forma, sua imagem (I_1) se forma sob o objeto. A equação de Gauss ($1/f = 1/D_o + 1/D_i$) determina a imagem do espelho 2, ou seja:

$$1/20 = 1/60 + 1/D_i \Rightarrow D_i = 30 \text{ cm}.$$

Logo, a distância entre as primeiras imagens será D = 30 cm.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra A

Comentário: A imagem formada por um espelho côncavo de um objeto entre o foco e o vértice do espelho é virtual, direta e maior que o objeto. As alternativas C e D estão erradas por apresentarem um espelho convexo, que deve formar imagens menores que o objeto. A alternativa B é incorreta, pois a imagem de um objeto entre o centro de curvatura e o foco de um espelho côncavo deve estar à frente do espelho. Portanto, a alternativa correta é a A.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Podemos ver pelas figuras que a imagem fornecida pelo espelho da figura 1 é virtual, direta e menor que o boneco. Logo, conclui-se que o espelho utilizado na figura 1 é convexo, pois somente espelhos desse tipo podem produzir imagens com essas características. A imagem fornecida pelo espelho da figura 2 é virtual, direta e maior que o objeto. Logo, o espelho utilizado nessa figura é côncavo, pois o único tipo de espelho que pode produzir uma imagem virtual e maior que o objeto é o espelho côncavo. Podemos concluir também que o objeto, nessa situação, deve estar posicionado entre o foco e o vértice do espelho, pois o espelho somente irá produzir uma imagem com as características citadas se o objeto estiver posicionado nessa região.

Questão 04 – Letra B

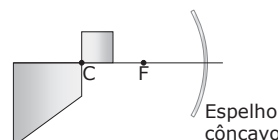
Comentário: A imagem de um objeto formada por um espelho convexo é virtual, encontra-se atrás do espelho e está localizada entre o foco e o vértice. Portanto, o ponto em que, mais provavelmente, a imagem da lâmpada será formada é o ponto L.

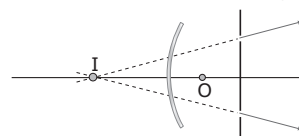
Questão 07 – Letra A

Comentário: Como $H_I = 9H_O \Rightarrow D_I = 9D_O$. Sendo $D_I = +4{,}0$ m (imagem real) $\Rightarrow D_O = (4/9)$ m. Usando a equação de Gauss, temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_O} + \frac{1}{D_I} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{9}{4} + \frac{1}{4} \Rightarrow f = 0{,}40 \text{ m}$$

Questão 09 – Letra D

Comentário: O lado do quadrado sobre o centro de curvatura do espelho tem sua imagem formada sob o centro de curvatura, e essa imagem possui o mesmo tamanho que o lado do quadrado. O lado do quadrado que está entre o centro de curvatura e o foco do espelho tem sua imagem formada além do centro de curvatura, sendo esta maior que o lado do quadrado e estando mais distante do espelho que este. Assim, a imagem formada, um trapézio, está mostrada na figura a seguir.

Questão 11 – Letra A

Comentário: O objeto luminoso está entre o foco e o vértice do espelho côncavo. Assim, a sua imagem é virtual, direta, maior e encontra-se atrás do espelho, a uma distância maior deste do que a distância do objeto ao espelho. Os raios refletidos pelo espelho têm os seus prolongamentos se encontrando na posição em que a imagem é formada. Prolongando os raios da alternativa A, encontramos as características necessárias aos raios luminosos, nessa situação. Veja a seguir.

Portanto, a alternativa correta é a A.

Questão 13 – Letra E

Comentário: Como a imagem possui a mesma altura que o objeto, este deve estar posicionado sobre o centro de curvatura do espelho. Assim, R = 2f = 40 cm. Logo, a distância focal desse espelho é igual a 20 cm. Colocando-se o objeto muito distante do espelho, a imagem se forma praticamente sobre seu foco, ou seja, a 20 cm do espelho.

Questão 15

Comentário: A questão permite duas soluções: uma gráfica (solicitada na questão) e outra analítica.

Considere que o objeto e a sua imagem sejam verticais, extensos e que seus "pés" se encontrem sobre o eixo (EP). A altura do objeto é o dobro da altura da imagem (logo, $D_O = 2D_I$). Veja, ainda, que a imagem é invertida, sendo, portanto, real. A distância da imagem ao espelho é menor que a distância do objeto ao espelho. Assim, o espelho deve estar à direita da imagem (objeto e imagem à frente do espelho). Vamos considerar a unidade de medida (u) como sendo o tamanho de cada quadriculado.

A luz que vai da cabeça do objeto ao espelho, passando pelo centro de curvatura, reflete sobre si mesma e vai em direção à cabeça da imagem. Assim, a linha OI determina o centro de curvatura (C) do espelho.

Uma vez que $D_O = 2D_I$, o espelho deve estar na posição mostrada na figura ($D_I = 6u$ e $D_O = 12u$) – parte mais importante da solução geométrica (veja os dois triângulos destacados da esquerda e da direita. Eles devem apresentar a mesma proporção). Logo, o foco (F) fica no ponto médio entre o espelho (E) e o centro (C). Isso permite desenhar os raios incidentes e refletidos que vão formar a imagem.

Outra solução: uma vez determinado o centro C, o restante da montagem, por simetria entre as suas partes esquerda e direita em relação à imagem, determina a posição do espelho (E) e do seu foco (F).

A solução analítica seria a seguinte:

$H_I = H_O/2 \Rightarrow D_I = D_O/2$. Usando a equação de Gauss, temos: $(1/f) = (1/D_I) + (1/D_O) \Rightarrow$

$(1/f) = (2/D_O) + (1/D_O) = (3/D_O) \Rightarrow$

$D_O = 3f$ e $D_I = 3f/2$.

Observe que, para qualquer posição do espelho, a diferença entre as distâncias do objeto e da imagem ao espelho ($D_O - D_I$) será igual a 6u (distância entre objeto e sua imagem). Ou seja:

$D_O - D_I = 6 \Rightarrow 3f - 2f/2 = 6 \Rightarrow f = 4u$. Assim, $D_O = 12u$ e $D_I = 6u$.

Seção Enem

Questão 01 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: O Sol está muito distante da Terra e o espelho concentrador formará uma imagem no seu plano focal. Assim, $D_I = f$ nos dois casos. Quanto menor o tamanho dessa imagem, mais concentrada estará a energia que chega ao cano absorvedor. Usando a equação da ampliação, temos: $H_I = H_O.D_I/D_O \Rightarrow H_I = H_O.f/200H_O \Rightarrow H_I = f/200$. Dessa forma, a imagem formada pelo espelho nas alternativas 1 e 2 será, respectivamente, $H_1 = 1{,}0$ cm e $H_2 = 2{,}0$ cm. Como os canos absorvedores têm 1,0 cm de diâmetro, toda a energia fornecida pelo concentrador seria absorvida pela água, apenas, na proposta 1. Uma vez que essa imagem vai se formar no plano focal, o cano deve ficar sobre esta linha, ou seja, a 2,0 m de distância do centro do concentrador.

Da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a A.

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: A imagem formada nos detectores será real, uma vez que ela é obtida pelo cruzamento dos próprios raios refletidos pelos espelhos. Observe que o espelho convexo converge a radiação que incide sobre ele. Para que isso aconteça, ela deve dirigir-se ao ponto P, tal que VP < f. Essa conclusão pode ser extraída das duas primeiras figuras da questão. Observe que na primeira figura, ponto P entre F e C, a luz refletida pelo espelho convexo está divergindo e, na segunda, na qual o ponto P está sobre F, ela sai paralela ao eixo principal. Portanto, para a luz convergir para o detector, o ponto P deve estar entre V e F. Outra forma de se chegar a essa conclusão seria desenhar os raios incidentes, a normal e os raios refletidos, conforme mostra a figura a seguir.

MÓDULO – C 04

Refração da luz

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra B

Comentário: Quando a luz incide de um meio mais refringente para outro de índice de refração menor, dependendo do ângulo de incidência, ela pode sofrer reflexão total e, consequentemente, não haverá refração. Portanto, a alternativa correta é a B.

Questão 02 – Letra A

Comentário: Veja a figura a seguir:

Uma vez que o raio de luz reflete no fundo do tanque, os triângulos destacados são congruentes. Assim, seus lados inferiores são iguais a L = 10 cm, a hipotenusa (H) do 1º triângulo será: $H^2 = 143 + 100 \Rightarrow H = 15{,}58$ cm, e o seno do ângulo de refração será: $\text{sen}\ \theta = L/H = 10/15{,}58$.

Pela Lei de Snell, temos que: $n_L.\text{sen}\ \theta = n_{AR}.\text{sen}\ 60º \Rightarrow$

$n_L / n_{AR} = \text{sen}\ 60º / \text{sen}\ \theta \Rightarrow n_L / n_{AR} = 0{,}866 / (10 / 15{,}58) \Rightarrow$

$n_L / n_{AR} = 1{,}35$.

Questão 03 – Letra B

Comentário: Em todas as opções o raio incidente sofre refração (aproxima-se da normal). O raio refratado, ao chegar à face inferior da placa, pode ou não sofrer outra refração de acordo com o ângulo de incidência e com ângulo limite entre o vidro e o ar. A alternativa B está incorreta. Nela, o primeiro raio refratado sofre reflexão total na face inferior e, dessa forma, deve sofrer outra reflexão total ao retornar à face superior da placa (como indicado na alternativa D). Na opção C, o raio sofre reflexão parcial e refração na face inferior. Quando esse raio chega à face direita da lâmina, ele pode sofrer reflexão total, uma vez que o ângulo de incidência, nessa face, é maior que o ângulo de incidência na face inferior. Na alternativa E, o raio refratado chega à face inferior segundo o ângulo limite e, assim, sofre reflexão parcial e refrata tangente à superfície (o mesmo acontece na face superior). O professor deve aproveitar a questão para estimular os alunos a explicarem por que os raios inclinados para a direita, na parte superior da alternativa A, são paralelos.

Questão 04 – Letra A

Comentário: A Lei de Snell diz que, para um determinado ângulo de incidência, quanto menos refringente for uma substância, menor será o seno do ângulo de refração dentro dela ($\text{sen}\ \theta_R = \text{sen}\ \theta_I.n_I/n_R$). Para ângulos entre 0° e 90°, quanto menor seu valor, menor será o seu seno. Uma vez que o índice de refração do vidro diminui com o aumento do comprimento de onda, para a nova radiação o vidro apresenta menor índice de refração. Assim, o ângulo de refração será menor e, dessa forma, o desvio sofrido pela luz será também menor. Observe, por último, que o segundo raio refratado, que sai do prisma, deve-se afastar da normal no sentido oposto ao do raio incidente nessa superfície.

Questão 05 – Letra B

Comentário: Na figura a seguir, θ e α são os ângulos de incidência e de refração, respectivamente. Nela, os dois ângulos α são congruentes. O ângulo $\beta = 2\alpha$ (soma dos ângulos internos não adjacentes) e $\theta = \beta$ (ângulos correspondentes). Lembrando que $\text{sen}\ 2\alpha = (2\text{sen}\ \alpha.\cos\ \alpha)$ e usando a Lei de Snell, temos:

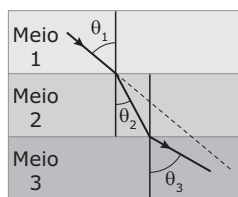
$n.\text{sen}\ \alpha = n_{Ar}.\text{sen}\ \theta \Rightarrow n.\text{sen}\ \alpha = n_{Ar}.\text{sen}\ (2\alpha)$

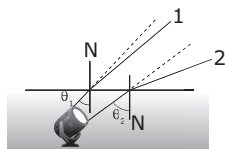
$\Rightarrow n.\text{sen}\ \alpha = 1.2\text{sen}\ \alpha.\cos\ \alpha \Rightarrow n = 2\cos\ \alpha$

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra B

Comentário: A figura a seguir mostra os ângulos formados entre o raio de luz e as normais aos pontos de interface entre os meios 1, 2 e 3.

Observe que $\theta_3 > \theta_1 > \theta_2$. A velocidade do raio de luz é proporcional ao seno do ângulo formado com a normal. Logo, quanto maior o ângulo, maior será a velocidade. Portanto, $v_3 > v_1 > v_2$.

Questão 02 – Letra B

Comentário: Como o índice de refração do ar é menor que o da água, a luz deve afastar-se da normal ao sofrer a refração. Observe que os ângulos formados pelos raios incidentes com a normal são diferentes, sendo $\theta_2 > \theta_1$. Portanto, de acordo com a Lei de Snell, o ângulo de refração do raio 2 (com a normal) deve ser maior que o do raio 1. Assim, o raio 2 deve afastar-se da normal mais que o raio 1, como está representado na figura seguinte.

Questão 04 – Letra D

Comentário:

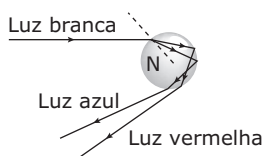
I. Falso. A velocidade da luz, em qualquer meio material, nunca pode ser maior do que a velocidade dela no vácuo.

II. Verdadeiro. O desvio do raio de luz não vai ocorrer se ele incidir sobre a normal, ângulo de incidência 0°, qualquer que seja o sentido da propagação da luz.

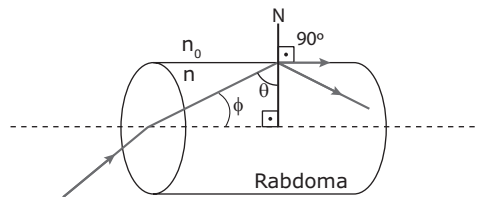
III. Falso. Para qualquer incidência oblíqua do raio de luz, este será desviado, independentemente de quais são os meios de incidência e de refração.

IV. Verdadeiro. Se o meio é menos refringente, o ângulo de refração do raio luminoso é maior que o de incidência.

Questão 05 – Letra A

Comentário: Como o índice de refração da água é maior para a luz azul, essa radiação vai sofrer o maior desvio ao entrar e sair da gota de água. Veja a seguir.

Dessa forma, o diagrama correto para explicar os fenômenos que ocorrem na formação de um arco-íris está representado na alternativa A.

Questão 06 – Letra B

Comentário: Para que a luz não escape do rabdoma (reflexão interna total), é necessário que $n > n_0$. Observe a figura. Nela, θ e 90º são os ângulos de incidência e refração, respectivamente. Os ângulos θ e ϕ são complementares ($\text{sen}\ \theta = \cos\ \phi$). Usando a Lei de Snell, temos:

$n.\text{sen}\ \theta = n_0.\text{sen}\ 90º \Rightarrow n.\cos\ \phi = n_0.1 \Rightarrow \cos\ \phi = n_0/n$

Logo, a alternativa correta é a B.

Questão 08 – Letra A

Comentário: A imagem da folha de papel, vista através da placa de vidro, está um pouco acima da superfície da mesa e abaixo da superfície superior da placa de vidro. Assim, para que a fotografia continue com a mesma nitidez, a máquina deve ser afastada do papel (aumentar a altura H) de uma distância menor que 5 cm.

Questão 10 – Letra C

Comentário: Observe que os sistemas ópticos 1 e 2 estão direcionados para o ponto D (onde se localiza a imagem da estrutura do tecido a ser analisada). Esssa imagem se localiza acima da posição real do objeto. Dessa forma, o objeto (estrutura do tecido) se encontra no ponto C (abaixo da sua imagem).

Questão 11 – Letra C

Comentário: De acordo com o gráfico, o índice de refração do material é menor para a frequência f_1 (veja o gráfico). Sabemos que a velocidade de propagação da luz em um dado meio é inversamente proporcional ao índice de refração da luz nesse meio. Assim, nessa substância, a luz de frequência f_1 terá maior velocidade.

Seção Enem

Questão 01 – Letra E

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: Para que o indígena visualize o peixe, este deve ser iluminado por uma fonte de luz (provavelmente o Sol), a luz deve ser refletida pelo peixe e propagar-se em direção à superfície do lago. Ao atravessar a superfície água + ar, indo em direção ao ar, o feixe de luz sofre refração e aumenta sua velocidade, e a sua inclinação em relação à normal aumenta. Haverá, portanto, a formação de uma imagem virtual acima do peixe e, por essa razão, o índio deve mirar abaixo da imagem que ele enxerga.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Na refração convencional, o feixe de luz, para uma incidência oblíqua, atravessa a reta normal, ou seja, os raios incidentes encontram-se de um lado da reta normal, e os raios refratados encontram-se do outro lado desta. No entanto, na refração da luz em um metamaterial, os raios incidentes e os raios refletidos encontram-se do mesmo lado da reta normal. Observe a Lei de Snell: $n_{Ar}.\text{sen}\ \theta_{Ar} = n_{MEIO}.\text{sen}\ \theta_{MEIO}$. Se n_{Ar} e $\text{sen}\ \theta_{Ar}$ são positivos e n_{MEIO} é negativo, o $\text{sen}\ \theta_{MEIO}$ deverá ser negativo. Dessa forma, a luz deve refratar, ficando do mesmo lado da reta normal que a luz incidente.

Questão 03 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: Segundo o texto introdutório da questão, a fibra óptica possui um revestimento e um núcleo, que transmite a luz. Para que a luz não escape do núcleo (seja transmitida), ela deve sofrer somente reflexões (reflexões totais) na interface que separa o núcleo do revestimento. A reflexão total é um fenômeno que só é possível de acontecer quando a radiação se propaga de um meio de maior índice de refração para outro de menor índice. Portanto, a alternativa correta é a A.

Um fato matemático interessante de ser discutido é que, como sabemos, o ângulo limite (θ_L), a partir do qual a incidência de luz no dioptro só resulta reflexão, pode ser calculado por sen $\theta_L = n_2/n_1$. Para que essa relação seja verdadeira, devemos ter, obrigatoriamente, $n_2 \leq n_1$, de forma que $0 \leq$ sen $\theta_L \leq 1$. Assim, o meio em que a luz se propagava, cujo índice de refração é n_1, deve ser mais refringente que o outro. Na questão, n_1 seria o índice do núcleo e n_2, do revestimento.

Questão 04 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: A imagem vista pelos detetives é formada após a luz sofrer refração no vidro. Se o objeto é visto perpendicularmente à superfície do vidro, a sua imagem está nessa perpendicular. Caso o objeto seja visto numa posição oblíqua, a sua imagem está ligeiramente deslocada em relação à posição do objeto. Tal deslocamento será tanto maior quanto mais espesso for o vidro. O professor deve fazer um desenho mostrando isso.

Para que o vidro possa parecer um espelho para o interrogado, deve haver muita luminosidade nesse ambiente, de modo que exista muita luz refletida e, dessa forma, ofusque a visão do ambiente fora da sala. Para os detetives enxergarem o que passa dentro da sala de interrogatório, o ambiente externo deve ser pouco iluminado, de modo que a luz que refrata forme imagens nítidas do interrogado. Havendo pouca luminosidade fora da sala, as imagens formadas por reflexão são quase imperceptíveis aos detetives.

O professor deve chamar a atenção dos alunos no sentido de observarem, durante a noite, as imagens formadas, no vidro liso e transparente de uma janela, quando a luz ambiente está acesa e apagada. Dessa forma, fica mais fácil a percepção da resposta da questão.

MÓDULO – D 04

Trabalho e potencial elétrico

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra C

Comentário: No trecho AB, a força elétrica não realiza trabalho, pois o potencial elétrico nesse caminho é constante. Por isso, como a velocidade da carga é constante, o trabalho da força externa também deve ser nulo. No trecho BC, há variação no potencial elétrico, de modo que o trabalho da força elétrica é igual a:

$$W_{BC} = V_{BC}.q = (3,0 - 1,0).1,0 \times 10^{-6} = 2,0 \times 10^{-6}\ J$$

Atenção, esse é o trabalho da força elétrica. O enunciado se refere ao trabalho da força externa. Como a velocidade deve ser constante, o trabalho total deve ser nulo. Assim, no trecho BC, o trabalho da força externa deve ser igual, mas de sinal oposto, ao trabalho da força elétrica.

Questão 02 – Letra D

Comentário: Substituindo V = +30 V e r = 3 cm (3×10^{-2} m) na equação V = KQ/R, obtemos o seguinte valor para a carga Q:

$$+30 = 9,0 \times 10^9.Q/(3,0 \times 10^{-2}) \Rightarrow Q = +1,0 \times 10^{-10}\ C = +0,1 \times 10^{-9}\ C$$

Questão 03 – Letra A

Comentário: O potencial elétrico é uma grandeza escalar. Logo, o potencial elétrico resultante em um ponto P, devido a um conjunto de cargas, é calculado somando-se algebricamente os potenciais elétricos de cada uma das cargas que compõem o conjunto.

Questão 04 – Letra C

Comentário: A velocidade do próton no ponto 2 (v_2) pode ser calculada pelo teorema trabalho-energia cinética:

$$W = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)$$

O trabalho W, realizado pela força elétrica, pode ser obtido pela definição da diferença de potencial elétrico:

$$V_1 - V_2 = \Delta V = \frac{W}{q}$$

Substituindo a carga do próton q = $1,6 \times 10^{-19}$ C e a diferença de potencial ΔV = 32 V nessa expressão, obtemos:

$$W = 32.1,6 \times 10^{-19} = 5,12 \times 10^{-18}\ J$$

Substituindo esse trabalho, a massa (m = $1,6 \times 10^{-27}$ kg) e a velocidade inicial do próton (v_1 = 0, pois o próton parte do repouso) na 1ª equação, obtemos a velocidade desejada:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2W}{m}} = \sqrt{\frac{2.5,12 \times 10^{-18}}{1,6 \times 10^{-27}}} = 8,0 \times 10^4\ m/s$$

Professor, havendo tempo, mostre para os alunos que este problema pode ainda ser resolvido combinando a equação de Torricelli ($v_2^2 = 2.a.d$) com as equações da 2ª lei de Newton (F = m.a) e do trabalho (W = F.d):

$$v_2^2 = 2.\frac{\not{F}}{m}.\frac{W}{\not{F}} = \frac{2W}{m} \qquad v_2 = \sqrt{\frac{2W}{m}} = \sqrt{\frac{2.5,12 \times 10^{-18}}{1,6 \times 10^{-27}}} = 8,0 \times 10^4\ m/s$$

Nesta solução, como na primeira, não foi necessário usar a distância d = 0,6 m entre os pontos 1 e 2. Esse valor só seria usado se, por exemplo, fosse pedido o valor do campo elétrico na região dada. Esse campo pode ser calculado pela expressão:

$$\Delta V = E.d \Rightarrow 32 = E.0,6 \Rightarrow E = 53\ V/m$$

Questão 05 – Letra C

Comentário: A energia potencial elétrica de um sistema com várias cargas é a soma das energias potencias elétricas das cargas tomadas duas a duas em arranjo. Assim, para o sistema triplo desta questão, temos:

$$E_{pe} = K\frac{Q.Q}{L} + K\frac{Q.Q}{L} + K\frac{Q.Q}{2L} = \frac{5KQ^2}{2L} = 2,5\frac{KQ^2}{L}$$

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra A

Comentário: O trabalho realizado por qualquer força conservativa, que é o caso da força elétrica, não depende da trajetória, mas apenas dos níveis inicial e final de potencial associado ao campo de forças. Por isso, os três trabalhos são iguais.

Questão 02 – Letra B

Comentário: A questão não especifica que força irá realizar o trabalho ao longo do deslocamento 2-5-6. Muitas questões sobre campo e potencial elétrico omitem essa importante informação. Em geral, nesses casos, o trabalho

pedido é o trabalho realizado pela força elétrica (ou por uma força externa ao campo elétrico e que se opõe à força elétrica, de modo que a resultante de forças sobre a carga é zero, e o deslocamento se dá à velocidade constante). Esse trabalho é dado pela expressão:

W = q.(diferença de potencial elétrico entre o ponto de partida e o ponto de chegada da carga)

O ponto de chegada (6) se acha sobre a superfície equipotencial A, de potencial de V_A = 50 V, enquanto o ponto de partida (2) acha-se sobre a superfície de potencial V_C = 150 V. Então, o trabalho realizado pela força elétrica sobre a carga $q = 1,0 \times 10^{-6}$ C é:

$$W = 1,0 \times 10^{-6}.(150 - 50) = 1,0 \times 10^{-4} \text{ J}$$

Note que o valor do campo elétrico, $E = 4,0 \times 10^2$ V, que também foi dado nessa questão, não foi utilizado em sua solução. Esse valor poderia ser usado para calcular a distância d entre as superfícies equipotenciais adjacentes, indicadas na figura, por meio da equação $V_{AB} = Ed$. Vale a pena mostrar esse cálculo a fim de explorar mais a questão e, ao mesmo tempo, mostrar aos alunos que, às vezes, as questões de vestibulares apresentam informações supérfluas.

Questão 04 – V F F F F

Comentário:

Verdadeiro. De acordo com a expressão $W_{\infty 1} = (V_\infty - V_1)q$, o trabalho será nulo, pois o potencial no infinito vale zero e o potencial V_1 também vale zero. Esse último é dado pela soma algébrica dos potenciais das cargas positiva e negativa, que, sendo iguais e equidistantes do ponto 1, produzem potenciais iguais e de sinais opostos. Por isso, a soma desses dois valores é nula.

Falso. O módulo do primeiro trabalho, que é dado por $W_{\infty 2} = |V_\infty - V_2|q$, é menor do que o módulo do segundo trabalho, $W_{\infty 3} = |V_\infty - V_3|q$, porque $V_\infty = 0$ e $V_2 < V_3$. Essa desigualdade ocorre porque os pontos 2 e 3 estão equidistantes da carga positiva, mas o ponto 2 está mais próximo à carga negativa. Assim, o efeito dessa carga tende a diminuir o potencial final no ponto 2.

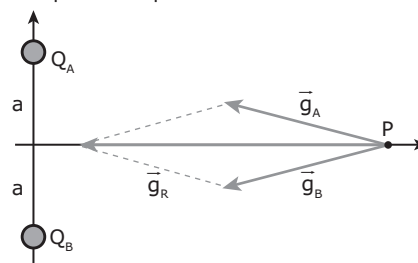
Falso. O campo elétrico no ponto 1 é a soma vetorial dos campos que a carga positiva e a carga negativa criam nesse ponto. Como esses dois campos são voltados para a esquerda (o campo da carga positiva diverge dessa carga, enquanto que o outro campo converge para a carga negativa), a soma dos dois vetores resulta em um vetor também voltado para a esquerda. Por isso, a resultante não é zero.

Falso. Conforme discutido no segundo item, os potenciais nos pontos 2 e 3 são diferentes.

Falso. O módulo do primeiro trabalho é $W_{43} = |V_4 - V_3|q$, e o do outro é $W_{21} = |V_2 - V_1|q$. Apesar da aparente simetria dos pontos 1, 2, 3 e 4 e da carga positiva, os potenciais desses pontos são diferentes, de forma que não há um motivo óbvio de que os trabalhos W_{43} e W_{21} sejam iguais em módulo. Podemos calcular esses trabalhos para verificar isso. Vamos chamar as distâncias entre os pontos 1 e 2, entre o ponto 2 e a carga positiva, entre esta carga e o ponto 3 e entre o ponto 3 e o ponto 4 de x. Então, a distância da carga negativa ao ponto 1 vale 2x. Logo, os potenciais dos pontos 1, 2, 3 e 4 serão $V_1 = 0$, $V_2 = 2KQ/3x$, $V_3 = 4KQ/5x$ e $V_4 = KQ/3x$. Esses valores decorrem da expressão do potencial de uma carga pontual, $V = KQ/r$, em que Q é a carga geradora do potencial (no caso, a carga positiva e a carga negativa da figura), e r é a distância da carga ao ponto. Considerando KQ/x = 10 (em volts, por exemplo) e substituindo esses valores nas expressões dos trabalhos, obtemos $W_{43} = 14/3$ V.q e $W_{21} = 20/3$ V.q. Portanto, os trabalhos são diferentes.

Questão 05 – Soma = 17

Comentário:

01. Verdadeiro. Se $Q_A + Q_B = 0$, então as cargas são iguais e de sinais opostos, criando potenciais iguais e de sinais opostos no ponto P. Logo, como a soma algébrica desses potenciais é zero, o potencial resultante em P vale zero.
02. Falso. O potencial gravitacional é a soma dos potenciais gravitacionais das massas. Sendo sempre positivas, as massas irão gerar potenciais gravitacionais de sinais idênticos. Portanto, a soma desses potenciais, que é o potencial resultante, não pode ser nula.
04. Falso. Se $Q_A + Q_B = 0$, então, as cargas possuem módulos iguais e sinais opostos. Os campos gerados por Q_A e por Q_B no ponto P têm a mesma intensidade. Entretanto, possuem direções diferentes. Logo, esses campos não podem se anular.
08. Falso. O campo gravitacional gerado por uma massa é um vetor que aponta no sentido da massa. A figura a seguir indica os dois vetores que representam os campos gravitacionais das duas massas no ponto P. Naturalmente, o campo gravitacional resultante não é vertical, mas horizontal e voltado para a esquerda.

16. Verdadeiro. A figura anterior também pode representar o campo elétrico em P, gerado por cada uma das duas cargas, caso elas sejam negativas e de módulos iguais. O campo resultante, é claro, será horizontal e voltado para a esquerda.

Questão 06 – Letra E

Comentário: Aplicando as equações do campo e do potencial elétrico gerados por uma carga pontual, e substituindo os dados desta questão, obtemos um sistema de duas equações e duas incógnitas, a carga Q e a distância D, conforme apresentado abaixo:

Campo elétrico: $E = \dfrac{KQ}{D^2}$ $\quad 360 = \dfrac{KQ}{D^2}$ $\quad KQ = 360.D^2$

Potencial elétrico: $V = \dfrac{KQ}{D}$ $\quad 180 = \dfrac{KQ}{D}$

Substituindo a 1ª equação na 2ª equação, obtemos:

$$180 = \frac{360.D^{\not 2}}{\not D} \qquad D = 0,50\,\text{m}$$

Portanto, KQ = 180.0,50 = 90 ⇒ $9,0 \times 10^9$.Q = 90 ⇒ $Q = 10 \times 10^{-9}$ C

Como 1 n (1 nano) = 10^{-9}, então Q = 10 nC

Questão 07 – Letra E

Comentário: Vamos considerar que os quadrinhos tenham lados iguais a 1 unidade de distância. O potencial no ponto K é:

$$V_K = +K.2q/2 - Kq/1 = 0$$

E no ponto L é:

$$V_L = +K.2q/6 - Kq/3 = 0$$

Poderíamos ter verificado a nulidade dos potenciais nos pontos K e L simplesmente observando que os potenciais das duas cargas são opostos, pois elas apresentam sinais opostos, e que os módulos desses potenciais são iguais em pontos onde a distância à carga menor (−q) é igual à metade da distância à carga maior (+2q), pois o potencial de uma carga pontual é inversamente proporcional à distância a ela.

Assim, $V_K = 0$ porque a distância do ponto K à carga $-q$ é a metade da distância desse ponto à carga $+2q$. A mesma relação de distância ocorre no ponto L e, por isso, V_L também é nulo.

Questão 08 – Soma = 29

Comentário:

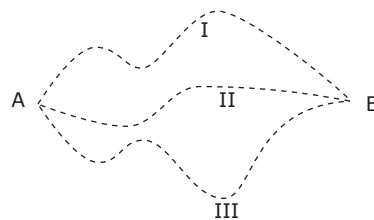
01. Verdadeiro. Uma carga elétrica positiva, abandonada em um campo elétrico, comporta-se de forma semelhante a uma massa abandonada em um campo gravitacional. Da mesma forma que a massa cai, buscando potenciais gravitacionais mais baixos, a carga elétrica positiva desloca-se para pontos onde o potencial elétrico é mais baixo. Uma carga negativa, ao contrário, ao ser abandonada em um campo elétrico, desloca-se para potenciais mais elevados. Professor, você pode até mesmo especular com os alunos, dizendo que, se existisse massa negativa, quando essa fosse solta a certa altura do solo, ela seria repelida pela Terra, e subiria, buscando potenciais gravitacionais mais altos.

02. Falso. Uma carga elétrica imersa em uma região onde existe um campo elétrico sofre uma força elétrica proveniente desse campo elétrico. Se a carga for positiva, essa força elétrica terá a mesma direção e o mesmo sentido do vetor campo elétrico no ponto onde a carga se acha, ou no ponto por onde a carga está passando, caso essa esteja em movimento. Se a carga for negativa, a força elétrica terá sentido oposto ao do vetor campo elétrico. No caso específico de uma carga ser abandonada do repouso em um campo elétrico uniforme (linhas de campo retilíneas e paralelas entre si), a carga irá entrar em movimento retilíneo uniformemente variado, cuja direção será a mesma das linhas do campo elétrico. O movimento será no sentido das linhas de campo elétrico se a carga for positiva, e no sentido oposto, se a carga for negativa.

04. Verdadeiro. Como o nome sugere, uma superfície equipotencial é uma superfície onde o potencial elétrico é constante, isto é, todos os pontos dessa superfície acham-se no mesmo potencial elétrico. Portanto, quando uma carga se desloca ao longo de uma superfície equipotencial, o trabalho do campo elétrico é nulo, uma vez que a diferença de potencial entre pontos dessa superfície, definida pelo quociente trabalho/carga, é nulo. Para isso ocorrer, a força elétrica sobre a carga deve ser perpendicular ao deslocamento da carga. Assim, o campo elétrico, cuja direção é a mesma da força elétrica, é também perpendicular à superfície equipotencial.

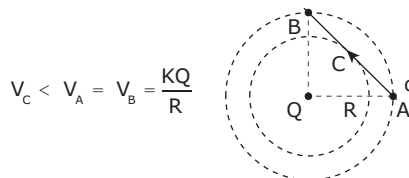
08. Verdadeiro. Todo campo de força conservativa é associado ao conceito de potencial e também ao conceito de energia potencial. O exemplo mais famoso é o campo gravitacional da Terra, que é associado à energia potencial gravitacional. A denominação de campo de força conservativa deve-se ao fato de que a energia potencial, associada ao campo, é convertida em energia cinética ou vice-versa sempre que um corpo de prova se desloca nesse campo. Esse corpo de prova pode ser uma massa (no caso do campo gravitacional), uma carga elétrica (no caso de um campo elétrico), um bloco ligado em uma mola elástica (no caso de um campo de forças elásticas), etc.

16. Verdadeiro. Uma característica marcante de um campo conservativo é o fato de o trabalho do campo depender apenas do potencial inicial e do potencial final referentes ao deslocamento de um corpo, e não da trajetória desse deslocamento. Na mecânica, um exemplo famoso é a queda de um corpo de peso P abandonado de uma altura h e a descida desse corpo por um plano inclinado de mesma altura, de comprimento L e com um ângulo de inclinação θ em relação à horizontal. O trabalho realizado pelo peso na queda é $W = P.h$, enquanto o trabalho do peso na descida pelo plano vale $W' = P.\text{sen}\theta.L$. Como $h = L.\text{sen}\theta$, o trabalho é o mesmo nos dois casos. O trabalho não depende da trajetória, mas sim do nível inicial de energia potencial do objeto ($E_{pg} = mgh$) e do nível final ($E_{pg} = 0$). Professor, explique para os alunos que a mesma coisa acontece quando uma carga se desloca em um campo elétrico.

Por exemplo, na figura abaixo, quando uma carga q sai do ponto A, onde potencial elétrico é V_A, e chega no ponto B, onde o potencial elétrico é V_B, os trabalhos realizados pelo campo nos três caminhos são iguais, e dados por $W_{AB} = (V_A - V_B).q$.

Questão 09 – Letra E

Comentário: A energia potencial elétrica existente entre duas cargas, q_1 e q_2, separadas por uma distância r, é dada por $E = Kq_1q_2/r$. Logo, a energia potencial elétrica existente entre as duas cargas é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional à distância. Sendo assim, ao dobrarmos o valor de cada carga, a energia tende a aumentar quatro vezes, considerando que a distância permaneça constante. Por outro lado, ao quadruplicarmos a distância, a energia tende a diminuir quatro vezes, considerando que os valores das cargas são mantidos constantes. Ao realizarmos as duas variações ao mesmo tempo, dobrarmos os valores das duas cargas e quadruplicarmos o valor da distância, o valor da energia permanecerá constante, pois uma variação anula o efeito da outra.

Questão 10 – Letra A

Comentário: Como a carga Q geradora de campo elétrico é pontual, a circunferência tracejada mostrada na figura deste exercício está contida sobre uma superfície equipotencial esférica de raio R, cujo potencial elétrico é $V = KQ/R^2$. Esse valor representa os potenciais elétricos dos pontos A e B. Assim, como não há diferença de potencial elétrico entre os pontos A e B, o trabalho realizado pela força elétrica no deslocamento da carga q de A até B vale zero. Professor, comente ainda que, na 1ª metade do deslocamento (trecho AC mostrado na abaixo), a carga passa de um potencial V_A para um potencial $V_C < V_A$ (supondo $Q > 0$), uma vez que a distância de C até a carga Q é menor que a distância de A ou B até a carga Q. Logo, $V_{AC} = V_A - V_C < 0$, de modo que o trabalho da força elétrica W_{AC} na 1ª metade do deslocamento é negativo. Na 2ª metade do deslocamento (trecho CB), o trabalho W_{CB} da força elétrica é positivo, pois $V_B > V_C$. Os trabalhos W_{AC} e W_{CB} apresentam módulos iguais e sinais opostos, de modo que $W_{AC} + W_{CB} = 0$. Esse resultado é lógico, pois essa soma representa o trabalho W_{AB}. Essa é outra maneira de ver que o trabalho elétrico de A até B vale zero.

Questão 11 – Letra A

Comentário: A energia potencial de um sistema de cargas pontuais é a soma algébrica das energias parciais das cargas, tomadas duas a duas em arranjo. Assim, para três cargas, a energia do sistema é:

$$E = KQ_1Q_2/r_{12} + KQ_1Q_3/r_{13} + KQ_2Q_3/r_{23}$$

Para $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$, e para $r_{12} = r_{13} = r_{23} = L$ (lado do triângulo), a expressão anterior se torna:

$$E = 3KQ^2/L$$

Portanto, a alternativa correta é a A.

Questão 12 – Letra A

Comentário: A carga positiva q = +40 x 10^{-6} C, de massa m = 10^{-3} kg, ao ser acelerada desde o repouso a partir do ponto A (potencial V_A = 300 V) até o ponto B (potencial V_B = 100 V), colide no anteparo com a energia cinética:

$E_{CB} = W_{AB} = (V_A - V_B).q = (300 - 100).40 \times 10^{-6} = 8,0 \times 10^{-3}$ J

Essa energia cinética corresponde à seguinte velocidade:

$$E_{CB} = \frac{1}{2}mv_B^2 \qquad 8,0 \times 10^{-3} = \frac{1}{2}10^{-3}v_B^2 \qquad v_B = 4\,m/s$$

Questão 14 – Letra C

Comentário:

A) Usando a equação V = E.d, temos:

$V_{AB} = E.d_{AB} = 100.0,10 = 10$ V

$V_{BC} = 0$, pois os pontos B e C acham-se sobre uma mesma superfície equipotencial (planos perpendiculares às linhas de força do campo elétrico).

$V_{AC} = V_{AB} = 10$ V, pois os pontos B e C estão sobre a mesma superfície equipotencial.

B) Usando a equação E = F/q, temos:

$100 = F/1,0 \times 10^{-6} \Rightarrow F = 1,0 \times 10^{-4}$ N

O trabalho pode ser calculado por:

$W_{AC} = W_{AB} + W_{BC} = F.d_{AB} + 0 = 1,0 \times 10^{-4}.0,10 = 1,0 \times 10^{-5}$ J

Ou, ainda, por:

$V_{AC} = W_{AC}/q \Rightarrow 10 = W_{AC}/1,0 \times 10^{-6} \Rightarrow W_{AC} = 1,0 \times 10^{-5}$ J

Questão 15

Comentário: O potencial em B é dado por:

$$V_B = 60\ V = KQ/1 - KQ/2$$

Aqui, podemos usar as distâncias das cargas ao ponto B em cm, porque não vamos usar o valor numérico da constante K. Vamos usar a equação anterior apenas para calcular o produto KQ. Resolvendo a equação, obtemos KQ = 120 V.cm.

Agora, vamos calcular o potencial no ponto A:

$$V_A = KQ/1 - KQ/4 = 3KQ/4$$

Substituindo KQ = 120 V.cm nessa expressão, obtemos V_A = 3.120/4 = 90 V.

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: O campo elétrico E, entre duas nuvens ou entre o solo e uma nuvem, pode ser considerado uniforme, e a voltagem V entre esses elementos é dada por V = E.d, sendo d a distância entre os elementos. No início do relâmpago, independentemente de esse ser entre duas nuvens, de uma nuvem para o solo, ou do solo para uma nuvem, o valor do campo é constante e igual à rigidez dielétrica do ar, 3,0 x 10^6 N/C. Portanto, V é diretamente proporcional a d. Assim, no início do relâmpago, a voltagem entre duas nuvens próximas é menor do que a voltagem entre uma nuvem e o solo (ou entre o solo e uma nuvem), pois a distância entre as nuvens é menor do que a distância entre a nuvem e o solo.

Usando a equação anterior, podemos estimar a voltagem entre uma nuvem e o solo, considerando que a nuvem esteja a uma altitude de 1 km, e vice-versa, no momento inicial de um relâmpago:

V = 3,0 x 10^6.1 000 = 3,0 x 10^9 volts (ordem de bilhões de volts)

Essa voltagem decresce à medida que o relâmpago tem continuidade, pois as cargas dos dois elementos participantes do fenômeno diminuem, com uma tendendo a anular a outra.

Antes de o relâmpago ocorrer, há cargas, campo elétrico e d.d.p. entre os elementos. O relâmpago ainda não ocorreu porque o campo elétrico ainda não atingiu o valor da rigidez dielétrica do ar.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Podemos calcular a potência elétrica gerada pelo sistema Terra / Ionosfera por meio da expressão P = W/Δt, em que W é o trabalho realizado pelo campo elétrico da Terra, e Δt é o intervalo de tempo gasto na realização desse trabalho. Esse intervalo é o tempo gasto no bombeamento da carga Q da atmosfera para a superfície da Terra. O trabalho W pode ser avaliado pela equação W = Q.V = Q.(E.d), em que V e E são a voltagem e o campo elétrico entre a superfície da Terra e a ionosfera. O fator d é a distância entre a superfície da Terra e a ionosfera. Na verdade, a equação V = E.d é válida para E constante. Porém, de acordo com o enunciado da questão, o campo elétrico da Terra pode ser considerado constante, em uma primeira aproximação. Então, substituindo E por 100 V/m, Q por 3,0 x 10^5 C, d por 50 km e Δt por 5 minutos (todos esses valores foram dados na questão), e fazendo as devidas adequações nas unidades (a unidade de minutos deve ser convertida para segundos, e a de quilômetros, para metros), obtemos:

P = (3,0 x 10^5 C).(100 V/m).(50 x 10^3 m)/(5,60 s) = 5 x 10^9 watts = 5 x 10^3 MW (lembrando que 1 M = 1 mega = 10^6)

Essa potência é bem alta, cerca de 2,5 vezes maior que a potência elétrica total das usinas nucleares de Angra dos Reis, que totalizam cerca de 2 000 MW.

MÓDULO – D 05

Condutores

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra D

Comentário: Vamos analisar as afirmativas da questão.

Afirmativas 1 e 2:

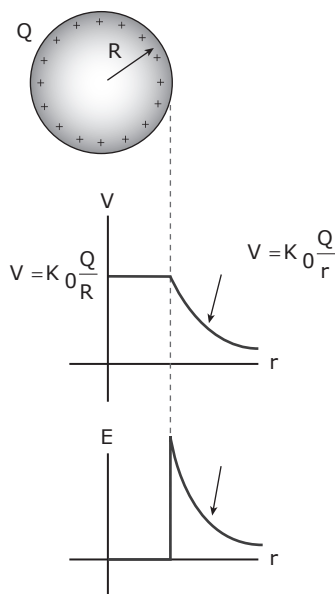
Em um condutor eletrizado, mas em equilíbrio eletrostático, não há movimento direcionado de cargas livres. Isso ocorre porque o campo elétrico é nulo no interior do condutor. Na superfície do condutor, o campo possui valor não nulo, mas é perpendicular à superfície. Assim, a força elétrica, que age sobre uma carga livre na superfície, também é perpendicular à superfície e não produz deslocamento ordenado na carga. Dessa forma, a força elétrica não realiza trabalho sobre as cargas livres do condutor, seja porque a força é zero (interior do condutor), seja porque ela é perpendicular à superfície do condutor. Por isso, não há diferença de potencial elétrico no condutor.

Afirmativa 3:

Em um condutor eletrizado, a carga tende a se acumular nas regiões pontiagudas. Portanto, a densidade superficial de carga é maior em pontos de raio de curvatura menor. Em virtude disso, o campo elétrico próximo às pontas do condutor é muito mais intenso que nas proximidades das regiões mais planas.

Diante da discussão anterior, conclui-se que as três afirmativas são corretas.

Questão 02 – Letra C

Comentário: A carga elétrica (positiva ou negativa) de uma esfera metálica em equilíbrio eletrostático (maciça ou oca) acha-se distribuída na superfície da esfera. Nessas circunstâncias, não há movimento de elétrons livres na casca esférica em nenhuma direção preferencial, de modo que o campo elétrico dentro da casca esférica é nulo (e também na parte oca). Como não há campo elétrico, não há força elétrica sobre cargas no interior da esfera, de modo que não há trabalho elétrico sobre essas cargas. Portanto, não há diferença de potencial elétrico no interior da esfera, ou seja, todos os pontos da esfera acham-se no mesmo potencial elétrico. Os pontos na superfície da esfera também apresentam esse mesmo valor de potencial elétrico. Para justificar isso, pense em uma carga movendo-se sobre a superfície da esfera. Como a força elétrica é perpendicular à superfície, pois o campo elétrico é perpendicular à superfície, a força é perpendicular ao deslocamento, de modo que não há realização de trabalho elétrico. Logo, não há diferença de potencial elétrico na superfície da esfera. Professor, não deixe de esboçar, no quadro da sala, a figura abaixo, que resume o mapeamento do campo e do potencial elétrico em uma esfera condutora em equilíbrio eletrostático. A figura mostra que o campo é nulo e que o potencial é constante dentro da esfera, mas que o campo decai a partir da superfície externa com o inverso do quadrado da distância ao centro da esfera, enquanto que o potencial decai com o inverso dessa distância.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Professor, depois de discutir o Exercício de Fixação 2, faça o Exercício de Fixação 3 que é uma continuação da discussão anterior. Na parte externa da esfera condutora eletrizada, há campo e potencial elétrico. Ambos diminuem em função do aumento da distância r ao centro da esfera:

$$E = K_0\frac{Q}{r^2} \text{ e } V = K_0\frac{Q}{r}$$

Para $Q = 2\ \mu C = 2 \times 10^{-6}$ C (carga da esfera), $K_0 = 9 \times 10^9$ N.m²/C² (constante eletrostática do vácuo, e que é aproximadamente igual à do ar) e $r = 3$ cm $= 3 \times 10^{-2}$ m (distância do ponto P ao centro da esfera), temos:

$$E_P = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^7 \text{ N/C e}$$

$$V_P = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6}}{3 \times 10^{-2}} = 6 \times 10^5 \text{ V}$$

A força elétrica sobre uma carga $q = 5$ nC $= 5 \times 10^{-9}$ C colocada em P é:

$$F_P = E_P q = 2 \times 10^7 . 5 \times 10^{-9} = 1 \times 10^{-1} \text{ N}$$

Professor, depois de concluir esse exercício, comente que a carga q é muito menor que a carga Q (Q/q = 1 000 vezes menor). Assim, a carga q praticamente não altera a distribuição de cargas na superfície da esfera. É por isso que nós podemos usar o campo elétrico dado pela equação $E = K_0Q/r^2$ para calcular a força elétrica sobre a carga q.

Questão 04 – Letra C

Comentário: Todo invólucro metálico protege os objetos em seu interior contra efeitos elétricos gerados exteriormente. Quando o pente eletrizado é aproximado da peneira metálica, há uma redistribuição das cargas livres na superfície desta, de forma que o campo elétrico resultante em seu interior – criado pelo pente e pela distribuição de cargas na superfície da peneira – seja nulo. Ou seja, a peneira de metal cria uma blindagem eletrostática para os objetos em seu interior.

Questão 05 – Soma = 01

Comentário:

01. Verdadeiro. As carga elétrica induzida em um objeto condutor tende a se acumular mais nas partes com menor raio de curvatura. Por isso, nas vizinhanças das partes pontiagudas desse objeto, o campo elétrico é mais intenso. Esse fato, conhecido como o poder das pontas, explica porque um raio tende a cair preferencialmente sobre objetos pontiagudos, como os pára-raios, uma árvore alta, um poste e até mesmo uma pessoa que está de pé em um terreno descampado.
02. Falso. As cargas elétricas durante uma descarga tendem a mover dos pontos de maior potencial elétrico para os pontos de menor potencial elétrico apenas quando essas cargas são positivas. Se elas forem negativas, ocorre justamente o contrário, as cargas tendem a se mover dos pontos de menor potencial para os de maior.
03. Falso. Uma onda eletromagnética é gerada a partir de cargas elétricas aceleradas. O exemplo clássico é a onda de rádio produzida a partir das oscilações de elétrons na antena da rádio transmissora. Os raios são formados por cargas elétricas submetidas a forças elétricas, de modo que essas cargas, de forma geral, apresentam acelerações. Por isso, o movimento acelerado dessas cargas gera ondas eletromagnéticas.
04. Falso. Uma descarga elétrica no ar ocorre quando este se torna condutor de eletricidade. Para isso, o campo elétrico no ar (uniforme ou não) deve ser maior (e não menor) que 3×10^6 N/C, valor conhecido como rigidez dielétrica do ar.
05. Falso. O trovão é um som, sendo, portanto, uma onda mecânica longitudinal. Ondas longitudinais não exibem polarização, que é um fenômeno típico das ondas transversais.

Professor, sobre as afirmativas 03 e 05, comente-os apenas informando as características básicas das ondas eletromagnéticas e mecânicas. Explique que movimento ondulatório será posteriormente estudado na Frente C.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra D

Comentário: Vamos analisar, separadamente, as afirmativas.

I. Verdadeira. A direção do campo elétrico é normal à superfície, de forma que não há componente do campo na direção tangente à superfície do condutor. Portanto, não há movimento ordenado das cargas livres na superfície do condutor. Logo, este encontra-se em equilíbrio eletrostático.

II. Verdadeira. O trabalho (realizado pela força elétrica) relativo a um deslocamento sobre a superfície de um condutor em equilíbrio eletrostático vale sempre zero, pois o campo elétrico (e a força elétrica) é perpendicular à superfície. Sendo sempre zero, esse trabalho independe do valor do campo.

III. Falsa. O potencial na superfície e no interior de um condutor em equilíbrio eletrostático é constante (por exemplo, para uma esfera de carga Q e raio R, o potencial em qualquer ponto da esfera é dado por V = KQ/R, sendo K a constante eletrostática do meio onde a esfera está imersa). Portanto, a superfície do condutor é uma superfície equipotencial.

Questão 02 – Letra D

Comentário: Vamos analisar as alternativas da questão.

A) Sendo uma grandeza vetorial, o campo elétrico não é positivo ou negativo, mas, sim, um sentido para cima, para baixo, etc. O potencial elétrico é que apresenta esses sinais.

B) A mesma observação feita no item A se aplica para a força elétrica. Sendo uma grandeza vetorial, a força elétrica pode apontar para cima, para baixo, etc., não possuindo, em geral, um sinal associado a ela.

C) O potencial elétrico gerado por uma carga (pontual) em um ponto P é inversamente proporcional à distância à carga. O campo elétrico é que é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

D) O potencial elétrico é uma grandeza escalar, e o seu valor possui um sinal, que depende do sinal da carga que gera o potencial elétrico.

Questão 03 – Letra B

Comentário: Vamos analisar separadamente as alternativas.

A) Como o potencial elétrico no interior da esfera é constante, não há diferença de potencial elétrico e nem há realização de trabalho elétrico quando uma carga se move entre dois pontos situados dentro da esfera, como acontece no deslocamento de uma carga indo do centro da esfera (r = 0) até um ponto situado na metade da distância do centro à superfície externa da esfera (r = R/2).

B) O trabalho W_{AB} realizado pela esfera condutora de raio R e carga Q sobre uma carga $-q_0$, que se desloca de um ponto A muito distante da esfera ($r_A >> R$), onde o potencial elétrico é $V_A \approx 0$, até um ponto B sobre a superfície da esfera ($r_B = R$), onde o potencial é $V_B = K_0Q/R$, pode ser assim calculado:

$$V_A - V_B = \frac{W_{AB}}{-q_0} \qquad 0 - K_0\frac{Q}{R} = \frac{W_{AB}}{-q_0} \qquad W_{AB} = -K_0\frac{Qq_0}{R}$$

Portanto, o trabalho depende do raio da esfera.

C) Durante o carregamento da esfera, esta não estará em equilíbrio eletrostático. Por isso, o potencial elétrico na esfera não apresentará o comportamento mostrado no gráfico.

D) A densidade superficial de carga na esfera pode ser facilmente calculada a parir das informações dadas neste exercício. Para isso, basta dividir a carga da esfera (Q), que se acha uniformemente distribuída na sua superfície externa, pela área dessa superfície ($4\pi R^2$):

$$\sigma = Q/4\pi R^2$$

E) Como o potencial elétrico é constante dentro da esfera, não há diferença de potencial nessa região. Logo, não há trabalho elétrico sobre uma carga livre que se desloca dentro da esfera. Isso mostra que a força elétrica nessa carga é zero. Portanto, o campo elétrico dentro da esfera é zero, não havendo sentido em definir uma direção para esse campo no interior da esfera.

Questão 04 – Letra B

Comentário: O campo elétrico em qualquer ponto interno à esfera vale zero. O potencial elétrico é constante dentro da esfera e é dado por:

$$V = KQ/R = 9,0 \times 10^9 . 2,0 \times 10^{-8}/0,10 = 1,8 \times 10^3 \text{ V}$$

Questão 05 – Letra C

Comentário: De acordo com o Princípio da Conservação da Carga Elétrica, a soma das cargas finais é igual à soma das cargas iniciais:

$$Q_1 + Q_2 = 16Q - 4Q = 12Q \text{ (I)}$$

Além disso, no equilíbrio eletrostático, os potenciais das esferas são iguais:

$$KQ_1/R = KQ_2/2R \Rightarrow Q_2 = 2Q_1 \text{ (II)}$$

Substituindo Q_2 na equação (I), obtemos:

$$Q_1 + 2Q_1 = 12Q \Rightarrow Q_1 = 4Q$$

Logo: $Q_2 = 2.4Q = 8Q$

Questão 06 – Letra D

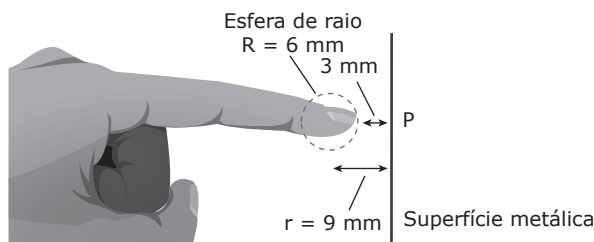
Comentário: O bastão eletrizado, ao ser aproximado da esfera, induz cargas opostas no lado esquerdo (−) e no lado direito (+) da esfera. A esfera atinge o equilíbrio eletrostático rapidamente, de forma que não haja mais movimentação de cargas em seu interior e em sua superfície. Isso mostra que o campo elétrico dentro da esfera é zero em qualquer ponto. Na superfície da esfera, o campo elétrico existe, mas é perpendicular à superfície, de forma que não há uma componente na direção tangente à esfera. É por isso que as cargas livres induzidas na superfície não sofrem deslocamentos em direções preferenciais.

Portanto, da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a D.

Questão 07 – Letra E

Comentário: O campo elétrico é nulo no interior de qualquer condutor eletrizado e em equilíbrio eletrostático. Depois que esse equilíbrio é atingido, não há mais movimentação de cargas livres em nenhuma direção preferencial dentro do condutor. Isso demonstra que a carga do condutor, que se acha distribuída na superfície externa, não exerce força elétrica nas cargas internas. Por isso, o campo elétrico dentro do condutor é nulo.

Questão 08 – Letra D

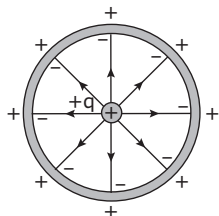
Comentário: De acordo com o texto deste exercício, o campo elétrico gerado pela ponta do dedo eletrizado é equivalente ao campo gerado por uma esfera de raio R = 6 mm, uniformemente eletrizada com a metade da carga do dedo (figura a seguir).

Para calcular a carga no dedo, devemos impor que o campo elétrico gerado pelo dedo no ponto P situado sobre uma superfície metálica distante 3 mm do dedo seja igual à rigidez dielétrica do ar, E = 3 x 10^6 N/C. Substituindo os dados na equação do campo elétrico de uma esfera, obtemos a seguinte carga na esfera:

$$E = K_0 \frac{Q}{r^2} \qquad 3 \times 10^6 = 9 \times 10^9 \frac{Q}{0{,}009^2} \qquad Q = 2{,}7 \times 10^{-8}\,C$$

A carga no dedo é a metade desse valor: q = Q/2 = 1,35 x 10^{-8} C.

Professor, comente que este exercício é um excelente exemplo de modelo físico. É difícil, se não impossível, obter a fórmula para calcular o campo elétrico de um dedo eletrizado. No entanto, o campo elétrico do dedo, modelado como se fosse equivalente ao de uma esfera com o dobro de carga, pode produzir resultados com boa precisão.

Questão 09 – Letra D

Comentário: A figura a seguir mostra as linhas de força devido à distribuição de cargas nas duas esferas desse problema. Como a esfera está eletrizada com uma carga +q, as linhas de força devem obrigatoriamente sair de sua superfície. Não podendo convergir de volta à esfera, essas linhas obrigatoriamente devem convergir para a superfície interna da casca. Isso significa que uma carga negativa −q aparece (induzida) na parte interna da casca. Essa carga tem o mesmo módulo da carga na esfera porque o número de linhas que saem (ou chegam) de um corpo é proporcional à carga desse corpo. Como as linhas de força vão da esfera para a casca, o potencial elétrico decresce nesse sentido, ou seja, o potencial na esfera é sempre maior do que o potencial na parte interna da casca. É por isso que, fazendo o contato entre a esfera e a casca, toda a carga da esfera é transferida para a casca.

O potencial elétrico final da casca será praticamente 104 V. O motivo disso é que a carga +q transferida da esfera para a casca é muito pequena, pois a esfera, apesar de pequena, apresentava um potencial de apenas +1 V, muito menor do que o potencial da casca. Esta, apesar de grande, apresentava um potencial inicial de +104 V (lembre-se de que uma esfera de pequeno raio tende a apresentar um elevado potencial elétrico e vice-versa, a menos que a carga da esfera seja pequena). Assim, sendo pequena, a carga +q quase não interfere no potencial da casca, que praticamente permanece valendo 104 V durante a transferência de carga. Naturalmente, o potencial interno também é igual a 104 V. Por isso, esse é o valor do potencial da esfera.

Questão 11

Comentário: De acordo com o princípio da conservação da carga elétrica, a soma das cargas finais nas duas esferas deve ser igual à soma das cargas iniciais:

$$Q_1 + Q_2 = 3{,}0\ \mu C$$

Além disso, depois de atingido o equilíbrio eletrostático, as esferas apresentam os mesmos potenciais elétricos:

$$K_0 \frac{Q_1}{R_1} = K_0 \frac{Q_2}{R_2} \qquad \frac{Q_1}{5{,}0} = \frac{Q_2}{10{,}0} \qquad Q_2 = 2.Q_1$$

Combinando as duas equações, obtemos Q_1 = 1,0 μC e Q_2 = 2,0 μC. Professor, não deixe de comentar que a resolução desse sistema pode ser feita sem a necessidade de converter as cargas de microcoulomb para coulomb, e nem as distâncias de centímetro para metro.

Seção Enem

Questão 01 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: A melhor resposta para essa questão é a letra B, que associa o não funcionamento do celular ao fenômeno da blindagem eletrostática. Porém, a rigor, a blindagem eletrostática aplica-se apenas a situações em que existe um equilíbrio eletrostático de cargas, de forma que a configuração de campo elétrico do problema não varie no tempo. Esse é o caso, por exemplo, da clássica experiência em que um pente eletrizado não consegue exercer força de atração elétrica sobre pedacinhos de papel picados dentro de um invólucro metálico, como uma peneira de alumínio. No caso dessa questão, devemos nos lembrar de que uma antena transmite sinais de rádios em direção ao celular que se acha dentro da caixa metálica. Esses sinais são ondas eletromagnéticas do tipo UHF (frequência ultra-alta), de frequência entre 300 MHz e 3 000 MHz. Esses sinais, como qualquer outra onda eletromagnética, são formados por campos elétricos e magnéticos de intensidades variáveis no espaço e no tempo. Por isso, não existe equilíbrio eletrostático na caixa metálica que abriga o aparelho celular quando o sinal eletromagnético da antena tenta penetrar no interior da caixa. Mesmo assim, o sinal penetra muito pouco nas paredes da caixa, pois há uma espécie de aumento da resistência elétrica das paredes metálicas. Esse fenômeno é conhecido como efeito *skin* ou efeito pelicular. A resistência à penetração do sinal eletromagnético depende do material metálico da caixa, como também da frequência do sinal. Quando a frequência é muito alta, como a dos sinais de celulares, a penetração nas paredes de um invólucro metálico é muito pequena. Maiores detalhes e outros exemplos referentes ao efeito *skin* podem ser obtidos na leitura complementar apresentada no Caderno Extra do módulo D 05.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: Durante uma tempestade, estando em casa, devemos nos afastar de janelas e de portas metálicas, pois esses corpos podem atrair descargas elétricas. O mesmo é valido para telefones com fios, que podem conduzir e transmitir descargas elétricas fatais ao usuário. Fora de casa, é importante evitar lugares descampados e topos de morros, pois uma pessoa de pé atuaria como um para-raios, atraindo descargas elétricas. É por isso que os jogadores de futebol em estádios desprovidos de para-raios costumam se jogar no chão quando ocorrem raios nas proximidades do campo. Durante uma tempestade com raios, não é uma boa ideia ficar debaixo de árvores, pois uma árvore alta age como um para-raios. Uma descarga elétrica que por ventura venha a atingir uma árvore tem grande chance de ser conduzida até a pessoa que se abriga sobre ela. Ao contrário, abrigar-se dentro de carros é uma boa ideia, pois o carro, sendo metálico, age como um escudo contra as descargas elétricas das tempestades. A explicação disso não é exatamente a blindagem eletrostática, embora muitos textos de Física tratem o problema sob essa óptica. A voltagem entre uma nuvem e o solo, logo que um raio principia, é muito grande. Ao final de uma fração de segundo, o raio desaparece e a voltagem entre a nuvem e o solo tende a zero. Por isso, o raio pode ser tratado como um sinal eletromagnético de frequência alta. A não penetração desse sinal dentro do carro, como explicado na resolução da questão 01, é devido ao efeito *skin*. Uma explicação mais detalhada da proteção que um carro metálico exerce contra descargas elétricas acha-se na leitura complementar do Caderno Extra, do módulo D 05.

Questão 03 – Letra C

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: O pente, eletrizado por atrito com a lã, atrai os pedacinhos de papel porque estes ficam polarizados devido à ação do pente. Surge, então, uma distribuição de cargas de sinais opostos nas extremidades dos pedacinhos de papel. Como o pente eletrizado cria um campo elétrico variável no espaço (e constante no tempo), a força de atração elétrica que age na extremidade mais próxima de um pedacinho de papel é maior do que a força de repulsão elétrica que age na outra extremidade. Quando os papéis são cobertos com a peneira metálica, ocorre uma redistribuição de cargas elétricas na superfície da peneira, de forma que a resultante entre o campo elétrico gerado por essa distribuição de cargas e o campo elétrico gerado pelo pente seja nula em todos os pontos do interior da peneira. Por isso, os pedacinhos de papel não são mais atraídos pelo pente. Esse fenômeno é conhecido como blindagem eletrostática. Quando uma peneira de plástico é usada, não há blindagem eletrostática sobre os pedacinhos de papel, pois, sendo a peneira constituída de um material isolante, as cargas elétricas em sua superfície não podem se movimentar e estabelecer uma redistribuição de cargas capaz de anular o campo elétrico do pente dentro da peneira. Por isso, os pedacinhos de papel são atraídos normalmente.

MÓDULO – D 06

Corrente elétrica

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra E

Comentário: A carga da bateria Q = 1 000 mAh, em coulombs, é igual a:

$$Q = 1\ 000 \times 10^{-3}\ \frac{C}{s}\ 3\ 600\ s = 3\ 600\ C$$

Essa carga corresponde a uma quantidade de elétrons igual a:

$Q = N.e \Rightarrow 3\ 600\ C = N.1{,}6 \times 10^{-19}\ C \Rightarrow N = 2{,}25 \times 10^{22}$ elétrons

Outra maneira de calcular este número de elétrons seria substituir a corrente de 1,000 A e o tempo de 3 600 s diretamente na fórmula da corrente elétrica:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{N.e}{t} \qquad 1{,}000 = \frac{N.1{,}6 \times 10^{-19}}{3\ 600} \qquad N = 2{,}25 \times 10^{22} \text{ elétrons}$$

Questão 02 – Letra C

Comentário: A quantidade de carga transportada em 0,5 s por uma corrente de 300 000 A vale:

$Q = I\Delta t = 300\ 000.0{,}5 \Rightarrow Q = 150\ 000\ C$

Essa carga representa a seguinte fração da carga Q_T da Terra:

$Q/Q_T = 150\ 000/600\ 000 = 0{,}25$

Portanto, um raio de 300 000 A com duração de 0,5 s pode compensar 1/4 da carga elétrica total da Terra.

Questão 03 – Letra A

Comentário: Inicialmente, a corrente elétrica é $I_1 = 6/(400 \times 10^3) = 15 \times 10^{-6}\ A = 15\ \mu A$. Posteriormente, a corrente elétrica torna-se $I_2 = 6/(300 \times 10^3) = 20 \times 10^{-6}\ A = 20\ \mu A$. Portanto, a variação da corrente é $\Delta I = 5\ \mu A$.

Questão 04 – Letra C

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

A) A resistência elétrica da barra é a razão entre a voltagem e a corrente na barra:

$$R = V/I = 0{,}5 \times 10^{-3}\ V/11{,}40\ A = 4{,}39 \times 10^{-5}\ \Omega$$

(que é muito menor que 150 Ω)

B) e D) A condutividade elétrica, assim como a resistividade elétrica, não depende da geometria do corpo, mas sim do material constituinte do corpo.

C) A condutividade elétrica pode ser obtida por meio da equação:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Substituindo a resistência elétrica da barra e o seu comprimento e seção transversal nessa equação, obtemos a condutividade elétrica (1/ρ):

$$\frac{1}{\rho} = \frac{L}{RA} = \frac{1{,}0}{4{,}39 \times 10^{-5}.(0{,}02.0{,}02)} = 5{,}70 \times 10^{7}\ \Omega^{-1}m^{-1}$$

E) O voltímetro é essencial nesta experiência, pois ele fornece o valor da voltagem na barra. O amperímetro também é essencial, pois ele fornece a corrente elétrica. O quociente da voltagem pela corrente elétrica é a resistência elétrica, que, juntamente com a geométrica da barra, é usada para a determinação da condutividade elétrica da barra.

Questão 05 – Letra A

Comentário: Vamos analisar as alternativas.

A) Se o chuveiro for alimentado com uma tensão de 127 V, a potência do chuveiro será de 4 800 W, implicando um consumo de 4 800 J de energia elétrica a cada segundo de funcionamento do aparelho.

B) e D) A corrente elétrica é I = P/V = 4 800/127 ≅ 38 A.

C) A tensão nominal (adequada) do chuveiro é 127 V.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra E

Comentário: Os valores da ordenada deste gráfico, multiplicados pela carga e = $1,6 \times 10^{-19}$ C, representam o fluxo de carga em C/s, portanto, a corrente elétrica que entra no detector de partículas. Assim, a área abaixo deste gráfico fornece a carga elétrica Q absorvida pelo detector:

$$Q = \frac{(8+4)x10^{-3}.10x10^{5}.1,6x10^{-19}}{2} + 5x10^{5}.1,6x10^{-19}.8x10^{-3} =$$

$$9,6x10^{-16} + 6,4x10^{-16} = 16x10^{-16}C$$

A corrente elétrica média no detector é:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{16 \text{ x } 10^{-16}}{8,0 \text{ x } 10^{-3}} = 2 \text{ x } 10^{-13} A$$

Outra forma de fazer este exercício é usando os fluxos médios nos intervalos de tempo I (de 0 a 2 s), II (de 2 a 6 s) e III (de 6 a 8 s): 10 x 10^5 partículas/s, 15 x 10^5 partículas/s e 10 x 10^5 partículas/s, respectivamente. A média ponderada no tempo fornece o fluxo médio no intervalo total (de 0 a 8 s):

$$\text{Fluxo médio} = \frac{(10.2 + 15.4 + 10.2) \text{ x } 10^5}{8} = 12,5 \text{x} 10^5 \text{ partículas/s}$$

Multiplicando esse fluxo pela carga elementar, obtemos a corrente elétrica média:

$$I = 12,5 \text{ x } 10^5.1,6 \text{ x } 10^{-19} = 2 \text{ x } 10^{-13} \text{ A}$$

Questão 02 – Letra B

Comentário: A corrente total na lâmpada é determinada pela soma dos fluxos dos íons positivos e dos íons negativos, mesmo que os sentidos de movimento dessas cargas sejam opostos. De fato, podemos imaginar que o movimento dos íons negativos seja invertido, substituindo as cargas negativas por cargas positivas, de forma que os efeitos gerados por essas cargas sejam os mesmos do movimento real das cargas negativas. Por isso, a corrente de íons negativos deve ser somada à corrente de íons positivos. O cálculo para determinar essas correntes é simples e está indicado a seguir.

$I = I^+ + I^- \Rightarrow$

$(1,0 \text{ x } 10^{18}$ íons/s$)1,6 \text{ x } 10^{-19}$ C + $(1,0 \text{ x } 10^{18}$ íons/s$)1,6 \text{ x } 10^{-19}$ C

$\Rightarrow I = 0,32$ C/s $= 0,32$ A

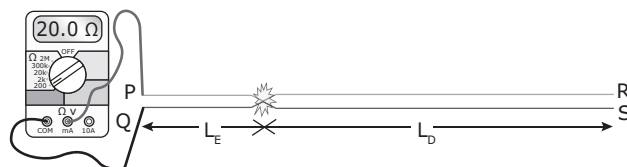
Questão 03 – Letra E

Comentário: A resistência elétrica de um condutor é dada por R = ρL/A, em que ρ é a resistividade elétrica do condutor, L é o comprimento do condutor, e A é a área da seção transversal do condutor. A área total A do condutor vale 70 mm² (área de apenas um fio, 10 mm², vezes o número de fios, 7). Podemos usar as unidades mm² para A, porque ρ é dado em Ω.mm²/m. Substituindo os dados, obtemos:

$R = (2,1 \text{ x } 10^{-2}\ \Omega.\text{mm}^2/\text{m}).1\ 000 \text{ m}/(70 \text{ mm}^2) = 0,3\ \Omega$

Outra forma de fazer esse exercício é calcular a resistência elétrica de um único fio. Para isso, devemos tomar A = 10 mm². O resultado é 2,1 Ω. Os sete fios estão ligados em paralelo, pois as suas extremidades serão ligadas a pontos comuns, como os polos de uma bateria. Logo, a resistência equivalente do cabo é R_{eq} = 2,1/7 = 0,3 Ω. Essa solução é mais complicada do que a primeira. Além disso, ela só pode ser apresentada aos alunos depois do estudo sobre associação de resistores (módulo D 08).

Questão 04 – Letra C

Comentário: A figura a seguir mostra os dois fios dentro do cabo telefônico, o ponto de contato causador do curto-circuito e um ohmímetro, que o técnico poderia ter usado para medir as resistências em cada extremidade do cabo. A leitura de 20,0 Ω, no lado esquerdo, corresponde a um comprimento igual a $2L_E$ do condutor. A leitura na outra ponta é de 80,0 Ω e corresponde ao comprimento de $2L_D$. Como a resistência entre as extremidades R e S (lado direito) é quatro vezes maior do que entre as extremidades P e Q (lado esquerdo), e como a resistência é proporcional a L, pois R = ρL/A, o comprimento L_D também deve ser quatro vezes maior do que o comprimento L_E. Além disso, como $L_E + L_D$ = 5,00 km, concluímos que L_E = 1,00 km e L_D = 4,00 km.

Questão 08 – Letra B

Comentário: Vamos analisar cada alternativa:

A) De acordo com a fórmula P = V.I, como a voltagem V é constante (voltagem de alimentação da casa), a potência P é diretamente proporcional à corrente I. Como a potência do chuveiro é maior que a potência do ferro, a corrente elétrica no chuveiro é maior que a corrente no ferro.

B) De acordo com a fórmula P = V²/R, como a voltagem V é constante, a potência P é inversamente proporcional à resistência R. Como a potência da lâmpada é menor que a potência do chuveiro, a resistência elétrica da lâmpada é maior que a do chuveiro.

C) A tensão é a mesma em todos os pontos da casa (voltagem da casa).

D) A potência da lâmpada (60 W) é menor que a potência do chuveiro (4 400 W).

Questão 09 – Letra D

Comentário: Durante 30 dias, sob as condições nominais 120 V e 4 000 W, o consumo de energia do chuveiro, que opera 30 minutos (0,5 h) por dia, é:

$E = P\Delta t = 4 \text{ kW}(30.0,5 \text{ h}) = 60 \text{ kWh}$

Admitindo que a resistência R do chuveiro não varie, sob a tensão de 108 V, a nova potência P′ diminui para:

$R = V^2/P = 120^2/4\ 000 = 3,6\ \Omega \Rightarrow P' = \frac{108^2}{3,6} = 3,24 \text{ kW}$

Então, o novo consumo mensal de energia é:

$E' = P'\Delta t = 3,24 \text{ kW}(30.0,5 \text{ h}) = 48,6 \text{ kWh}$

Portanto, haverá uma diminuição de 11,4 kWh no consumo de energia.

Questão 11 – Letra A

Comentário: De acordo com a equação $P = V^2/R$, ao ligar a lâmpada em uma tensão V menor, conclui-se que a potência P da lâmpada sofrerá uma redução (considerando que a resistência R permanecerá constante), de forma que o seu brilho será reduzido. A corrente na lâmpada, dada por $I = V/R$, também diminui de valor. Por isso, a durabilidade da lâmpada aumentará.

Questão 12 – Letra A

Comentário: De acordo com o gráfico deste exercício, tiramos que a potência elétrica da TV é de 600 W. A energia mensal economizada para cada 2 h que a TV fica desligada é:

$$E = P.\Delta t = 0{,}600 \text{ kW}.(2 \text{ h/dia}).30 \text{ dias} = 36 \text{ kW}$$

Ao custo de R$ 0,50 o kWh, a economia mensal é:
36 kWh.R$ 0,50 = R$ 18,00.

Questão 13 – Letra B

Comentário: Primeiro, vamos achar a resistência elétrica da torradeira:

$$R = \rho L/A = 1{,}2 \times 10^{-6}\ \Omega\text{m}.6{,}0 \text{ m}/0{,}36 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 20\ \Omega$$

Agora, podemos achar a potência elétrica da torradeira:

$$P = V^2/R = 120^2/20 = 720 \text{ W}$$

Em seguida, vamos calcular a energia consumida pela torradeira durante 1 mês:

$$E = P\Delta t = 0{,}720 \text{ kW}.\ \frac{3}{60} \text{ h/dia}.30 \text{ dias} = 1{,}08 \text{ kWh}$$

Ao custo de R$ 0,40 por kWh, o custo mensal da torradeira é:

$$\text{Custo} = 1{,}08 \text{ kWh}.\text{R\$ } 0{,}40/\text{kWh} = \text{R\$ } 0{,}432$$

Questão 14 – Letra C

Comentário: A potência P e a corrente i relacionam-se com a resistência R, por meio das equações:

$$P = V^2/R \quad \text{e} \quad i = V/R$$

Como V é constante, temos que P e i são grandezas inversamente proporcionais a R. Logo, quando R aumenta, tanto P quanto i diminuem.

Questão 15

Comentário: Como a corrente elétrica é a taxa de cargas que atravessa uma seção transversal do condutor, conclui-se que a área sob a curva do gráfico de corrente elétrica *versus* tempo é numericamente igual à quantidade de carga que atravessa esse condutor. Isso pode ser usado para qualquer evolução temporal da corrente, sendo esta constante ou variável no tempo. Assim, a carga que atravessa uma seção transversal do condutor em 6,0 s é dada por:
$Q = 36{,}0.4 + (36{,}0.2/2) = 144 + 36 = 180 \text{ mC} = 0{,}18 \text{ C}$

Questão 16

Comentário:

A) A corrente máxima que o disjuntor consegue suportar pode ser calculada pela expressão P = VI. Substituindo a tensão V = 120 V e a potência total $P = 7{,}20 \times 10^3$ W, obtemos a corrente máxima $I = 7{,}2 \times 10^3/120 = 60$ A.

B) A energia diária, dada pelo produto entre a potência e o tempo de uso, vale:
E = 4 kW.2 h + 6 kW.2 h + 2 kW.2 h = 24 kWh

C) O consumo de energia mensal é igual ao valor calculado no item anterior vezes o número de dias existentes em um mês (vamos considerar 30 dias). Assim:

$$E_{mensal} = 24.30 = 720 \text{ kWh}$$

Pelo custo de R$ 0,50 por kWh, o gasto mensal é: Custo = 720 kWh.0,50 reais/kWh = R$ 360,00

Seção Enem

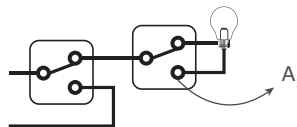
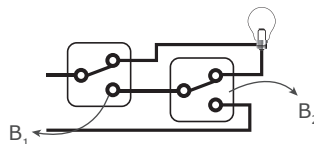
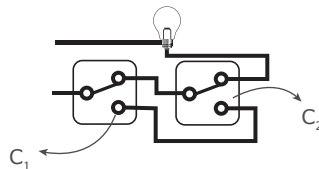
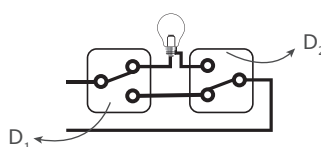
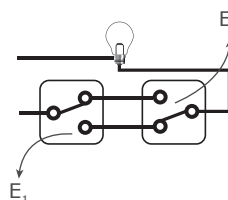
Questão 01 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Vamos apontar o erro de cada ligação.

A)

B)

C)

D)

E)

A instalação da alternativa E está correta. Repare que a lâmpada inicialmente está desligada, mas, se colocarmos o interruptor na posição E_1, ela acende. Da mesma forma, caso coloquemos o interruptor da esquerda na posição E_2, a lâmpada também acende. Ou seja, mantendo-se o interruptor de um lado em uma posição qualquer e alterando-se a posição do outro, conseguimos acender e apagar a lâmpada, que é o objetivo da instalação.

Veja que na figura da alternativa A o fio indicado por A1 não está ligado a nada, de forma que a lâmpada não está sujeita a nenhuma d.d.p. Portanto, é impossível que ela acenda.

Nos interruptores da letra B, o fio que termina no interruptor da esquerda não está ligado a nada e, portanto, a lâmpada não está sujeita a nenhuma d.d.p. Caso esse interruptor seja alterado para a posição B_1, então o fio que termina exatamente acima não estará sujeito a nenhuma d.d.p. Quanto ao interruptor da direita, repare que, na posição original, ele leva o fio ao interruptor da esquerda, já explicado anteriormente. Caso sua posição seja alterada para B_2, o fio que chega da lâmpada a esse interruptor será desligado, não ficando a lâmpada sujeita a nenhuma d.d.p. Ou seja, não há configuração que faça a lâmpada acender.

Na alternativa C, no arranjo original, a lâmpada acende, porém, os dois interruptores têm de ficar exatamente como estão. Caso eles sejam alterados para a posição C_1 ou C_2, a lâmpada apaga; caso sejam alterados simultaneamente, a lâmpada também apaga. Lembrando o enunciado, que diz que a instalação requer que se possa apagar ou acender a lâmpada utilizando um interruptor, independentemente da posição do outro, considera-se essa instalação errada.

Na alternativa D, a lâmpada acende se alterarmos o interruptor da direita para D_2; contudo, se o interruptor da esquerda estivesse na posição D_1, isso não seria possível. Ou seja, precisamos dos dois interruptores para ligar a lâmpada, o que torna essa instalação errada.

Questão 02 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: A resistência elétrica de um condutor com comprimento L, cuja área de seção transversal e igual a A, é dada por $R = \rho L/A$. O parâmetro ρ é a resistividade elétrica do condutor, valor que depende do material do qual o condutor é constituído. Uma unidade comum para a resistividade é o $\Omega.m/mm^2$, em que Ω (ohm) é a unidade de resistência elétrica. O inverso da resistividade é a condutividade σ, cuja unidade é o $mm^2/(m.\Omega)$. Portanto, a equação anterior também pode ser escrita como $R = (1/\sigma).L/A$. Para dois condutores de geometrias idênticas, isto é, com os mesmos valores de comprimento L e área de seção reta A, concluímos que a resistência R é inversamente proporcional à condutividade σ. Assim, um condutor de prata, material com a maior condutividade entre as substâncias listadas na tabela, será aquele que apresentará a menor resistência elétrica.

Na prova original do Enem, a unidade da condutividade elétrica σ foi escrita como $(S.m/mm^2)$. O símbolo S é uma unidade denominada de siemens. Naturalmente, como a condutividade elétrica σ é o inverso da resistividade elétrica ρ, a unidade de σ também é o inverso da unidade de ρ, de forma que $S.m/mm^2 = m/(\Omega mm^2)$, ou seja $S = 1/\Omega = \Omega^{-1}$. De qualquer modo, o uso de S ou de $1/\Omega$ para compor a unidade da condutividade elétrica não interfere em nada na solução desta questão.

Questão 03 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: De acordo com as figuras, a leitura atual do relógio medidor de energia elétrica é de 2 783 kWh e a leitura do mesmo relógio no mês passado foi de 2 563 kWh. Então, o consumo mensal, dado pela diferença entre esses valores, vale 220 kWh. Ao custo de R$ 0,20 por kWh consumido, concluímos que o preço da conta de luz referente ao mês é de R$ 44,00 (produto entre 220 kWh e R$ 0,20/kWh).

Questão 04 – Letra D

Eixo cognitivo: V

Competência de área: 6

Habilidade: 23

Comentário: Primeiramente, vamos calcular a quantidade de calor Q_C gerada pela combustão direta de 1 litro de gasolina. Esse calor foi suficiente para gerar uma variação de temperatura de 35 °C em uma massa de água igual a 200 x 10^3 g. Portanto, podemos calcular Q_C por meio da equação do calor sensível:

$Q_C = mc\Delta t = 200 \times 10^3.4{,}19.35 = 2{,}93 \times 10^7$ J

Agora, vamos calcular a potência elétrica P_E produzida pelo gerador, que consome 1 litro de gasolina por hora. Essa potência pode ser calculada por meio da voltagem V e da resistência R do resistor.

$P_E = V^2/R = 110^2/11 = 1\ 100$ J/s

Em 1 hora, que é o tempo para o gerador consumir 1 litro de gasolina, temos a seguinte dissipação de energia E por efeito Joule:

$E = 3\ 600.1\ 100 = 3{,}96 \times 10^6$ J

Portanto, a combustão direta de 1 litro de combustível produz mais energia útil do que o gerador. A razão entre essas energias é:

$Q_C/E = 2{,}93 \times 10^7/3{,}96 \times 10^6 = 7{,}4$

Esse número indica que, para produzir o mesmo aquecimento em 200 litros de água, são necessárias 7,4 h de funcionamento do gerador, ou seja, o gerador consome uma quantidade de gasolina 7,4 vezes maior do que aquela usada no aquecimento da água por meio da combustão direta da gasolina.

Questão 05 – Letra E

Eixo cognitivo: V

Competência de área: 6

Habilidade: 23

Comentário: Inicialmente, vamos calcular o consumo de energia mensal, em kWh. Para isso, basta multiplicar a potência de cada equipamento, em kW, pelo tempo de uso mensal, em h, e somar todas as parcelas referentes aos equipamentos. Assim:

$E = [1{,}5.8 + 3{,}3.(1/3) + 0{,}2.10 + 0{,}35.10 + 0{,}10.6].30$

$E = 576$ kWh

Ao custo de R$ 0,40/kWh, o gasto mensal de energia elétrica dessa casa é:

Custo = 576.0,40 = R$ 230,40

Questão 06 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: O erro está na unidade de energia, megawatts por hora. A unidade correta, nesse caso, é megawatts vezes horas, pois a energia elétrica é o produto entre a potência elétrica nas usinas (dada, em geral, em megawatts) e o tempo de geração, em geral, dado em horas.

Embora esse problema seja de resolução muito fácil, você pode, professor, estender a discussão do assunto, alertando seus alunos para o fato de que a energia é uma grandeza dada em muitas unidades diferentes. Existem dois motivos básicos para isso. O primeiro é que a energia tem forte presença em todos os fenômenos físicos e, por isso, ela se relaciona com diferentes conceitos físicos. O segundo motivo é que o valor da energia pode ser muito pequeno, como também muito grande, dependendo do processo estudado. Para ilustrar isso, sugerimos que você, professor, apresente a tabela a seguir. Nela, colocamos as principais unidades de energia usadas na Física, bem como os fatores de conversão entre essas unidades e alguns exemplos numéricos envolvendo valores energéticos.

Note que o joule e a caloria são unidades muito pequenas para se medir o consumo mensal de energia elétrica em uma casa. Por isso, usamos o quilowatt-hora, que vale 3,6 milhões de joules. Por outro lado, o joule e a caloria são unidades grandes demais para serem usadas na quantificação de fenômenos atômicos. Nesse caso, é mais conveniente usarmos o elétron-volt, cujo valor é extremamente pequeno, 1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J.

Unidades de Energia	Fatores de conversões	Exemplos
joule (J)	_____	10 J – Energia potencial gravitacional de uma massa de 1 kg a uma altura de 1 m do solo.
caloria (cal)	1 cal = 4,18 J	10 cal – Energia para aquecer 10 g de água de 1 °C.
quilowatt-hora (kWh)	1 kWh = $3,6 \times 10^{6}$ J	10 kWh – Energia que uma lâmpada de potência 100 W consome em 100 horas de uso.
elétron-volt (eV)	1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J	13,6 eV – Energia de ligação do elétron no átomo de hidrogênio.

Questão 07 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 19

Comentário: O elevador deve elevar uma massa M = 1 400 kg (soma das massas do elevador e dos ocupantes) a uma altura H = 30 m. Para elevar essa carga com velocidade constante, a força F exercida pelo cabo que liga o motor ao elevador deve ser igual ao peso da carga. Assim, F = M.g = 1≈400.10 = 14 000 N. O trabalho W realizado por essa força durante a subida do elevador é dado por W = F.H = 14 000.30 = 420 000 J. O tempo Δt que o elevador leva para subir a altura H com velocidade v = 4 m/s é igual a Δt = H/v = 30/4 = 7,5 s. Então, a potência do motor que sustenta o elevador pode ser calculada por P = W/Δt = 420 000/7,5 = 56 000 W (ou 56 kW). Por fim, a corrente elétrica I que alimenta o motor vale I = P/V = 56 000/220 = 254,5 A.

Questão 08 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Como pode ser observado na conta de luz recebida pela estudante, o consumo de energia elétrica na residência dela foi de 260 kWh, pelo qual ela deve pagar uma quantia de R$ 130,00 mais a alíquota de 25%, R$ 32,50, referente ao imposto (ICMS). Portanto, conclui-se que o valor pago pela estudante por kwh de energia consumida é de R$ 0,50/kWh, mais impostos (25%).

Caso a estudante compre um secador de cabelos de 1 000 W de potência e ela e suas três amigas passem a utilizá-lo por 15 minutos cada uma, durante 20 dias por mês, o aumento mensal no consumo de energia elétrica da residência será de:

$$E = P.\ t \qquad E = 1\,000.4\,(1/4).20$$
$$E = 20 \text{ kWh}$$

Por esse aumento no consumo de energia elétrica mensal da residência a estudante deverá pagar a quantia de:

$$\text{valor} = 20.0,50 + \frac{20.0,50}{4}$$
$$\text{valor} = \text{R\$ } 12,50$$

Essa quantia é referente ao valor pago por kWh mais os impostos (ICMS).